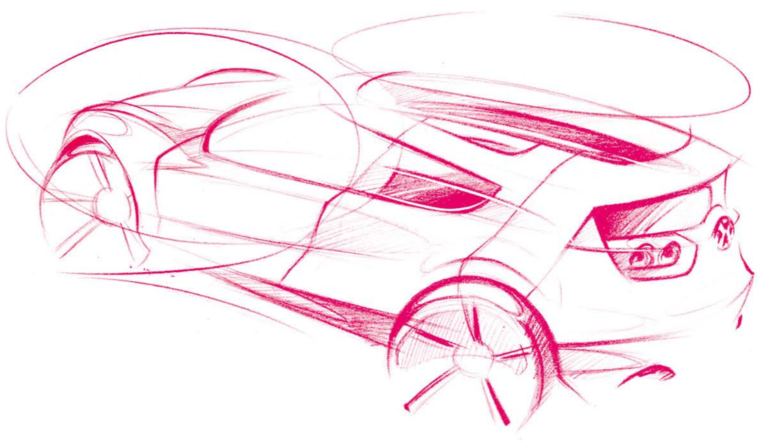
TURING 图灵新知

用最通俗的语言讲清楚最复杂的事

汽车是怎样跑起来的

【日】御堀直嗣 / 著　　卢 扬 / 译



汽油动力车 · 电动汽车 · 混合动力车

一本书彻底了解你的爱车

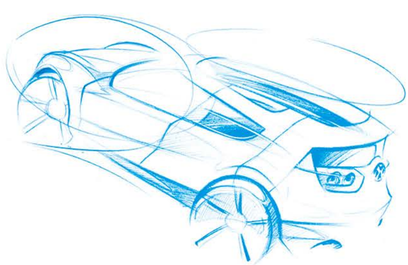
人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

御堀直嗣

日本著名的汽车评论家、作家、记者。NAUGHTY BOY公司董事长。年轻时曾是赛车手，参加过FL500、FJ1600等汽车比赛，夺冠一次。日本汽车奖（Car of the Year Japan）评审委员。日本汽车俱乐部副理事。为诸多汽车杂志撰写专栏，出版过《图解环保型汽车》等二十余本著作。

卢扬

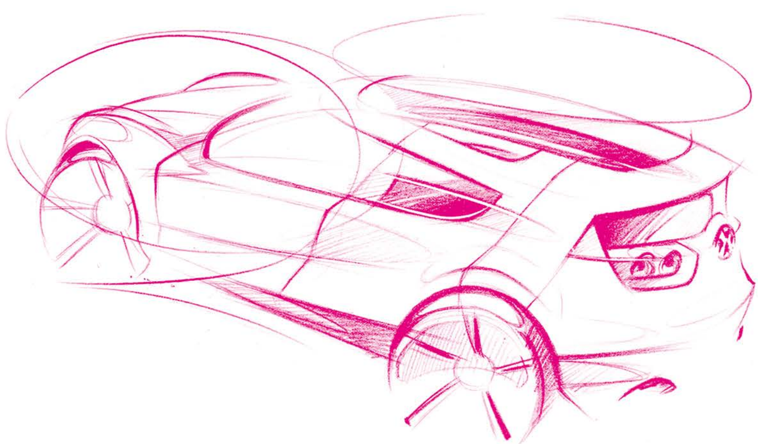
中国海洋大学外国语学院硕士，非典型性双鱼座。以一颗纯粹的文科女之心，深沉地热爱着汽车。新浪微博：@Jasmine卢小羊。



TURING 图灵新知

汽车是怎样跑起来的

【日】御堀直嗣 / 著　　卢 扬 / 译



人民邮电出版社
北京

图书在版编目(CIP)数据

汽车是怎样跑起来的 / (日) 御堀直嗣著；卢扬译.
-- 北京：人民邮电出版社，2013.12（2016.9 重印）
（图灵新知）
ISBN 978-7-115-33032-1

Ⅰ. ①汽… Ⅱ. ①御… ②卢… Ⅲ. ①汽车－普及读物 Ⅳ. ①U46-49

中国版本图书馆CIP数据核字（2013）第214896号

内 容 提 要

本书从汽车的内部结构开始讲起，精选了大量手绘图与各知名汽车公司提供的照片，以图配文的形式详细讲解了汽油动力车、电动汽车和混合动力车的工作原理，同时开辟了“汽车辟谣”专栏，通过生动有趣的人物对话，澄清对汽车的种种误解。

本书适合汽车爱好者、车主及汽车从业人员阅读。

◆ 著　　　　[日] 御堀直嗣
译　　　　卢　扬
责任编辑　乐　馨
执行编辑　金松月　徐　骞
责任印制　焦志炜

◆ 人民邮电出版社出版发行　　北京市丰台区成寿寺路11号
邮编　100164　　电子邮件　315@ptpress.com.cn
网址　http://www.ptpress.com.cn
北京　　　　　　印刷

◆ 开本：880×1230　1/32
印张：9.25
字数：210千字　　　　2013年12月第1版
印数：7 501-8 300册　　　　2016年9月北京第5次印刷

著作权合同登记号　图字：01-2013-3464号

定价：39.00元

读者服务热线：(010)51095186转604　印装质量热线：(010)81055316

反盗版热线：(010)81055315

广告经营许可证：京东工商广字第8052号

前　言

汽车为什么会跑？汽车会跑与人会走路一样，都是日常生活中再普通不过的事情了。正因如此，一旦被问及原因，反而不知该如何回答。在此之前，我虽写过解释汽车结构及汽车专业术语的书，但第一次面对“汽车为什么会跑”这个主题时，我还真有些不知所措呢。

从零开始讲解汽车的结构，需要花费很长时间。并且，各种新技术层出不穷，也迫使我们不得不重新认识汽车的行驶原理。多问几个“为什么”，我们就能感受到汽车的伟大和珍贵。

人们常说年轻人不懂汽车，我却觉得，其实大部分成年人都不懂汽车，原因之一就是他们对本书的主题——“汽车为什么会跑”不感兴趣，甚至根本不在乎。

他们认为无需对这个问题追根究底，只要汽车能打着火能跑就可以了，因为汽车生产商为提高汽车性能，增加其便利性，减少故障，已然倾尽了全力。说到这里，我想有必要谈一下技术开发的目的到底是什么，这是一个根本性的问题。

目前，对汽车安全性能的重视导致汽车越发笨重，不仅费油，前方视野也日趋狭窄，反而更容易引发交通事故。并且，由于汽车体积与碰撞能量成正比，因此需要开发出体积更大的车来确保安全。静下心来想一想，最初，这些旨在开发高性能汽车的生产商究竟是为什么而努力的呢？汽车的发展已逐渐偏离了人们的初衷。

阅读本书，你就能理解“汽车为什么会跑”这一基础性、根本性的问题，你将重新认识汽车的价值，或许还能对汽车的安全性有更深入的思考。

1886年，德国人卡尔·本茨[①]制造了第一辆以汽油为动力的汽车，并获得了专利，由此拉开了汽车生产的序幕。在之后的120多年里，汽车产业始终是发达国家的主要产业及支柱产业，相信未来也会不断发展。因此，我认为现在讨论“汽车为什么会跑”这一深刻问题是非常有意义的。

在本书中，我会从最基础的结构开始，为大家介绍汽车的行驶原理。因为讲述的是基本原理，所以有些内容未必是最新的。但是，如果你读懂了这本书，只要把新技术看作是它的延伸便能轻松理解。本书的最后，我会介绍现在大家津津乐道的电动汽车和混合动力汽车。

现在就请打开车门，坐到驾驶座上吧。

2009年7月

御堀直嗣

① 德国著名的戴姆勒－奔驰汽车公司的创始人之一，现代汽车工业的先驱者之一。——译者注

目录

第1章 汽车的五大要素 1

1.1 汽车的五大要素 4
1.1.1 行驶、转向和停车 4
1.1.2 五大要素密切协作 5

1.2 使汽车发动的物理原理 6
1.2.1 汽车因热而动、因热而停 6
1.2.2 轮胎也受“热”的影响 9
1.2.3 借助作用力与反作用力转向 10
1.2.4 充分利用物理原理采取安全措施 12
1.2.5 汽车巧用物理 14

1.3 汽车行驶、转向直至停车的过程 14
1.3.1 动力传动系驱动汽车 14
1.3.2 转向系统实现汽车转向 16
1.3.3 制动液传递制动压力，使轮胎停止转动 17

COLUMN 汽车辟谣
世界上最早的汽车真的是三轮车吗? 19

第1部分 汽油动力车篇

第2章 行驶 ——发动机是汽车的心脏 23

2.1 启动发动机 27
2.1.1 从点火开始 27
2.1.2 四冲程发动机的结构 28
2.1.3 将活塞的上下运动转化为曲轴的旋转 32
2.1.4 启动发动机前先使曲轴转动 33
2.1.5 用蓄电池供电 34

2.2 将空气与汽油混合后的混合气体吸入发动机 36
2.2.1 雾化汽油，生成混合气体 36
2.2.2 将燃料注入汽缸的“燃料喷射” 36
2.2.3 燃料喷射包括直接喷射和吸气管喷射 37

2.2.4 空气和汽油的理想比例是14.7 ：1 38
2.2.5 在直喷中，需要形成旋涡才能很好地生成混合气体 39
2.2.6 开启阀门，混合气体进入汽缸 41
2.2.7 活塞上升，压缩混合气体 44

2.3 压缩并引燃混合气体 45
2.3.1 用电引燃混合气体 45
2.3.2 从12伏到1万伏 48
2.3.3 转动凸轮，开启阀门 48
2.3.4 实现凸轮与活塞联动的装置 51
2.3.5 曲轴和凸轮轴还会影响引燃时机 53
2.3.6 不同形状的凸轮 55
2.3.7 VTEC区别使用两个不同形状的凸轮 56

2.4 净化废气，减小噪声 58
2.4.1 废气的处理 58
2.4.2 用贵金属净化废气 60
2.4.3 废气既不能过热也不能过冷 62
2.4.4 降低油耗的稀薄燃烧 63
2.4.5 设置消音器迷宫，减小噪声 64

2.5 改良发动机 67
2.5.1 使发动机运转更顺畅 改良1：多缸发动机 67
2.5.2 直列发动机和V型发动机 68
2.5.3 使发动机运转更顺畅 改良2：飞轮 70
2.5.4 使发动机运转更顺畅 改良3：平衡重 72
2.5.5 使发动机运转更顺畅 改良4：机油 73

2.6 从怠速到提高发动机转速 75
2.6.1 调节混合气体流量的油门 75
2.6.2 用电控制空气量的线控油门 76
2.6.3 没有油门，效率更高 77

COLUMN 汽车辟谣
发动机的效率真的只有30%？ 81

第3章 行驶 83
——变速器利用齿轮改变力量

3.1 离合器连接发动机和变速器 87
3.1.1 将发动机旋转传递至轮胎的动力传动系 87
3.1.2 利用离合器接合或分离变速器 88

3.2 利用齿轮实现发动机的自由变速 90
3.2.1 利用齿轮的减速增大发动机的旋转力 90
3.2.2 变速器的齿轮将旋转力变至原来的4倍 92
3.2.3 变换齿轮组，完成加速 95
3.2.4 在所有齿轮啮合时切换齿轮 96
3.2.5 行驶中无法实现齿轮的啮合 99
3.2.6 利用同步啮合装置实现精准啮合 100

3.3 从变速器到差速器 101
3.3.1 将发动机的旋转力传递至万向节 101
3.3.2 将旋转力从差速器传递到左右车轮 102
3.3.3 差速器也能降低速度，增大动力 104
3.3.4 利用差速器调整内侧和外侧的距离差 105
3.3.5 连接差速器和轮胎的传动轴 106

3.4 自动变速方式1：变矩器式 107
3.4.1 自动变速器有三种 107
3.4.2 液力变矩器像面对面摆放的两个风扇 107
3.4.3 用导轮加快液体的流速 111
3.4.4 离合器与液力变矩器强强联合 112
3.4.5 使用三个齿轮的行星齿轮 112
3.4.6 利用两个齿轮的组合进行齿轮切换 114
3.4.7 行星齿轮也是利用齿轮的半径比进行变速 117
3.4.8 利用离合器和制动器等驱动行星齿轮 118

3.5 自动变速方式2：自动离合器式 120

3.6 自动变速方式3：CVT 122

COLUMN 汽车辟谣
汽车的最快速度与空气有关吗? 125

第4章 转向 127
——借助轮胎和差速器顺利转向

4.1 改变汽车方向的转向系统 131
4.1.1 方向盘的转动带动齿轮工作 131
4.1.2 动力转向系统借助助力实现轻松转向 132

4.2 借助轮胎的变形和弯曲转向 133
4.2.1 轮胎具有柔软性，可以改变形状 133

4.2.2 充分利用轮胎的四边形触地面 134
4.2.3 轮胎弯曲，产生侧偏力 137

4.3 轮胎的抓地力支撑汽车 139
4.3.1 没有抓地力就无法转向 139
4.3.2 揭开抓地力的神秘面纱 140
4.3.3 轮胎的抓地力随路面状况发生变化 141
4.3.4 把抓地力分配给行驶和转向 142
4.3.5 抓地力的作用方法在前轮和后轮上有所不同 144
4.3.6 前置前驱和前置后驱利用抓地力的方法 145
4.3.7 如何增大轮胎的抓地力 147

4.4 差速器用于调整左右转速 148
4.4.1 转向时里侧转速慢，外侧转速快 148
4.4.2 四个伞齿轮吸收左右的转速差 149

4.5 利用悬架调整车体的倾斜度 152
4.5.1 转向时悬架受力，车身倾斜 152
4.5.2 利用弹簧、减震器和稳定器缓和振动 154
4.5.3 恰到好处的车身倾斜能够增大抓地力 157
4.5.4 转向时轮胎依然直立 158
4.5.5 转向时轮胎的触地面发生变形 161
4.5.6 为不改变触地面的形状而努力 162

COLUMN 汽车辟谣
真敢侧滑轮胎来驾驶汽车吗? 163

第5章 停车 165
——制动器将速度转化为摩擦热

5.1 负责让汽车停止的制动器的结构 168
5.1.1 松开加速踏板时速度会因摩擦而降低 168
5.1.2 踩下制动踏板时制动液会传递力量 169
5.1.3 制动器将速度转化为摩擦热 171
5.1.4 盘式制动器和鼓式制动器的不同 172
5.1.5 前后轮的制动负担不同 174
5.1.6 增强前轮制动效果的结构 174

5.2 制动器的助力 176
5.2.1 用很小的力也能让1吨的车停止 176
5.2.2 用杠杆原理增大踏力 176
5.2.3 用发动机的力辅助制动踏板的踏力 178

5.3 轮胎使汽车停止 180
5.3.1 轮胎也会影响制动效果 180
5.3.2 轮胎不转动就无法制动 181

5.4 除制动器之外的减速装置 182

COLUMN 汽车辟谣
紧急时刻有人不踩刹车吗? 184

第6章 舒适性 187
——很好地减小噪声和振动

6.1 减小各种噪声 190
6.1.1 汽车上处处都是噪声源 190
6.1.2 减小发动机的噪声 192
6.1.3 利用轮胎的沟纹减小噪声 194
6.1.4 轮胎上的花纹沟兼顾排水性和噪声控制 197
6.1.5 用轮胎抑制噪声的增加 198
6.1.6 柔软地固定金属，减小制动器噪声 199
6.1.7 接近流线型能够减小风噪 200
6.1.8 因动力传动系的变速产生的噪声 202
6.1.9 悬架也会产生很小的噪声 203
6.1.10 利用底盘上的隔音材料和底盘下的表面处理隔音 203

6.2 减轻振动 204

6.3 减轻声振粗糙 207

COLUMN 汽车辟谣
乘坐舒适度高的汽车容易晕车吗? 210

第7章 安全性 213
——多项技术保护人们免受事故伤害

7.1 防患于未然的主动安全技术 216
7.1.1 安全技术大体分为三种 216
7.1.2 ABS防止轮胎锁死 217
7.1.3 利用电脑自动调节制动器 218
7.1.4 踩住加速踏板时ESC发挥作用 221
7.1.5 紧急时刻借助制动辅助系统增强制动效果 223

7.1.6 接近于自动驾驶的雷达巡航控制系统 224
7.1.7 借助摄像头识别车道标记线的车道保持系统 225

7.2 临近事故时发挥作用的预碰撞安全技术 226
7.2.1 在即将撞击时制动 226
7.2.2 临近撞击时收紧安全带 227

7.3 撞击后控制损失的被动安全技术 228
7.3.1 既易变性又坚固的吸能车身结构 228
7.3.2 三点式安全带利用急减速的趋势固定 230
7.3.3 SRS安全气囊能够感知冲击力从而膨胀起来 232
7.3.4 保护头颈部的主动式头枕技术 233

COLUMN **汽车辟谣**
即使有发达的安全技术也无法减少事故吗？ 234

第2部分 新一代汽车篇

第8章 电动汽车 239
——用电启动电动机驱动汽车

8.1 电动汽车与汽油动力车的区别 242
8.1.1 电动汽车的零件比汽油动力车少 242
8.1.2 即使按下了按钮仍处于静止状态 243
8.1.3 根据加速情况调节输送到电动机中的电量 244

8.2 利用变频器和电动机产生旋转力 246
8.2.1 变频器负责转动电动机 246
8.2.2 交流电动机的结构 248
8.2.3 利用电动机发电的再生功能 249
8.2.4 再生需要变频器 252
8.2.5 从汽车发动时开始，电动机就能产生最大扭矩 252
8.2.6 电动机安静地转动 254

8.3 轮毂电机的结构 255
8.3.1 每个轮子上都有电动机 255
8.3.2 汽车的新可能性蕴藏在电动汽车中 257

8.4 锂离子电池的特征 258

COLUMN 汽车辟谣

电动汽车果真静得吓人吗? 261

第9章 环保型汽车 263

——混合动力汽车以及燃料电池汽车等

9.1 燃料电池汽车的结构 266

9.1.1 蓄电池的低性能催生出了能够发电的电动汽车 266

9.1.2 以氢为燃料发电 267

9.1.3 仅残留水的燃料电池汽车是终极环保车 269

9.2 混合动力汽车有很多种 271

9.2.1 同时使用发动机和电动机 271

9.2.2 并联式混合动力汽车和串联式混合动力汽车 272

9.2.3 接近电动汽车的插入式混合动力汽车 274

9.3 不用电的新一代汽车 276

9.3.1 不受排放标准限制的清洁柴油汽车 276

9.3.2 使用生物燃料的发动机汽车 277

9.3.3 燃烧氢的氢动力汽车 278

COLUMN 汽车辟谣

新一代汽车里果真没有赢家吗? 279

结语 281

致谢 282

汽车是怎样跑起来的
——本书中涉及的主要关键词

第1章　汽车的五大要素

行驶、转向、停车、舒适性、安全性

第1部分　汽油动力车

第2章　行驶——发动机是汽车的心脏

发动机、四冲程、活塞、汽缸、凸轮、曲轴、直接喷射、吸气管喷射、空燃比、蓄电池、起动机、废气、涡轮增压器

第3章　行驶——变速器利用齿轮改变力量

手动变速器、自动变速器、齿轮、正齿轮、行星齿轮、离合器、扭矩、发动机功率、牙嵌式离合器、同步啮合装置、差速器、液力变扭器、CVT

第4章　转向——借助轮胎和差速器顺利转向

转向系统、抓地力、侧偏力、差速器、悬架、悬架摆臂、弹簧、减震器、稳定器

第2部分　新一代汽车

第8章　电动汽车——以车载电源为动力，用电机驱动车轮行驶

电动汽车（EV，Electric Vehicle）、电动机、变频器、蓄电池、充电器、交流电、直流电、调节器、再生、制动力、扭矩、轮毂电机、锂离子电池

读完本书，你就会明白汽油动力车的行驶、转向和停车机制，还能对电动汽车和混合动力汽车等新一代汽车有所了解。

第5章 **停车——制动器将速度转化为摩擦热**

盘式制动器、鼓式制动器、制动器主气缸、制动卡钳、制动垫、真空倍力泵、抓地力、ABS、发动机制动

第6章 **舒适性——减小噪声和振动**

NVH、噪音、振动、声振粗糙、空气净化器、沟纹、平整表面、悬架、橡胶衬套

第7章 **安全性——多项技术保护人们免受事故伤害**

主动安全技术、被动安全技术、预碰撞安全技术、ABS、ESC、制动辅助系统、雷达巡航控制系统、车道保持系统、预碰撞制动、预碰撞安全带、吸能车身、3 点式安全带、安全气囊、主动式头枕技术

第9章 **环保型汽车——混合动力汽车以及燃料电池汽车等**

燃料电池汽车（FCV，Fuel Cell Vehicle）、混合动力汽车、插入式混合动力汽车、清洁柴油汽车、生物燃料、氢动力车

本书的结构

本书由两部分共 9 章构成，第 1 部分包括第 2 章 ~ 第 7 章，第 2 部分包括第 8 章 ~ 第 9 章。每章内容由热身问答、本章重点、本章看点、正文以及专栏组成。

●热身问答

每章开头都有一个简单的问答，内容与该章的主题有关。因此，请在阅读正文前小试牛刀。

●本章重点

这部分是正文内容的总括，可以让读者粗略了解本章内容。

●本章看点

这部分分条罗列了正文内容，可以让读者了解讲解的顺序。

●正文

在这部分中，我将把驾驶员转动钥匙启动发动机、踩下加速踏板发动汽车等日常驾驶操作与汽车内部结构的运转相关联，一一进行详细的介绍。汽车的结构和零件比较复杂，但本书使用了大量插图，因此简洁易懂。

●专栏“汽车辟谣”

这部分选取了与汽车结构相关的话题为汽车辟谣。通过汽车杂志的年轻记者与其上司之间的对话，揭开谣言背后的真相。

第1章

汽车的五大要素

热身问答

阅读正文前，让我们先回答下面的问题来热热身吧。

问题

汽车大约由多少个零件组成？

1. 约 2000 个
2. 约 2 万个
3. 约 20 万个

答案

2. 约 2 万个

解析

通常认为汽车由大约 2 万个零件组成，其中铁制零件占绝大多数。虽然统称为铁，但构成车体框架的车架和塑造整体车型的车身部分使用的是钢板，变速器等箱体部分使用的是将铁熔化并注入模具做成的铸件。

此外，发动机和悬架使用铝，布线使用铜等金属，净化废气的催化剂使用白金等贵金属。

再看一下汽车内部，使用较多的是合成树脂（plastic）。合成树脂通常是以石油为原料，通过人工化学合成。近年来也使用一些以植物为原料、可再生的生物塑料。木质内饰使用原木（如红木等）和胶合板，座椅使用化学纤维、真皮和人造革。与普通房屋的窗玻璃不同，车窗玻璃即使受到撞击也很难破裂。即使破裂，其碎片也不锋利，很难伤到人。

轮胎由橡胶制成，这种橡胶由以石油为原料的化学合成橡胶和取自橡胶树的天然橡胶混合而成。在橡胶内侧加入化学合成纤维和钢丝，就构成了轮胎的框架。

这些常见的零件，再加上所有的螺丝钉，大概有 2 万件之多。

本章重点

汽车由发动机、变速器和制动器（即刹车）等相互独立、数量众多的装置组合而成。了解这些装置极为重要。汽车生产商们也致力于这些装置的改进，但是，仅关注每个装置的结构和功能，有可能无法理解这一装置在汽车整体中的作用。因此，为了能让大家先形成对汽车的整体印象，在第 1 章里，我将有条理地为大家说明汽车的要素和顺序。

从第 2 章开始，我将逐一详细介绍汽车的装置。随着阅读的深入，你可能会无法理解每个装置之间的关系，这时可以返回第 1 章寻找答案，同时请回想一下汽车行驶时的整体状态。第 1 章是基础章节，请大家务必反复阅读。

本章看点

（1）汽车的五大要素

介绍汽车的五大要素。好汽车都很好地实现了这五大要素的平衡。

（2）使汽车运转的物理原理

汽车很好地利用了基础物理原理。我将列举身边的例子来探究汽车和物理之间的关系。

（3）汽车行驶、转向直至停车的过程

介绍汽车行驶、转向，直至停车的大体顺序，方便大家形成对汽车的整体印象。

1.1 汽车的五大要素

1.1.1 行驶、转向和停车

一直以来，汽车厂商不断追求高性能，以优化汽车行驶、转向、停车三方面的体验。从 19 世纪德国人卡尔 • 本茨发明了世界上第一辆汽车以来，人们一直在设法改进行驶、转向和停车的机制。可以说，汽车发展的历史，就是以上三方面性能不断优化的过程。

赛车运动也源于汽车的发展，赛车中优胜的荣耀正来源于一种追求——对汽车行驶、转向和停车性能的不断改进。例如，今天的 F1 赛车[①]仍在探寻如何跑得更快，如何更加顺畅地转向，必要时刻如何及时停车。并且，全世界都在关注他们在汽车性能方面的竞争。

提高了行驶、转向和停车的性能之后，人们开始期待汽车变得更加舒适，并且开始注重其安全性。无法保证安全性能的汽车随时可能发生事故、产生故障，肯定不会舒适。舒适性和安全性是相辅相成的。

进入 20 世纪后，出现了专为寻常百姓制造的福特 T 型车，从此，舒适性和安全性开始受到人们的关注。要想普及汽车，舒适性和安全性是不可或缺的两大要素。在此之前，汽车只是用于满足一部分人的好奇心和冒险心的交通工具，直到 20 世纪初，汽车还处于萌芽期，人们关注的还只是行驶、转向、停车等基本要素。

从少数人的猎奇品到寻常百姓的交通工具，在汽车的发展过程中，

① 一级方程式大奖赛（Grand Prix Formula One，F1）是目前世界上速度最快、费用最昂贵、技术含量最高的比赛，也是方程式汽车赛中最高级别的比赛。——译者注

舒适性和安全性逐渐成为重要因素。行驶、转向和停车这三大要素，加上舒适性和安全性，构成了汽车的五大要素（图 1.1）。无论是由发动机驱动的汽车，还是由发动机和电力共同驱动的混合动力汽车以及电动汽车等新型汽车，都具备这五大要素。



图1.1　汽车的五大要素

1.1.2 五大要素密切协作

汽车的五大要素是密切相关的，舒适、安全的汽车应该会很好地实现行驶、转向、停车这三个基本要素。

能够紧贴地面行驶，加速、转向顺畅，停车及时的汽车肯定是舒适的。例如，汽车不会随着道路的起伏而上下颠簸。又或者，如果汽车的方向盘足够灵敏，汽车就能够在紧急时刻迅速转向，避免摩擦和碰撞。

如果汽车的制动系统随时都能够正常工作，即使在关键时刻踩下

制动踏板紧急刹车，轮胎也应该不会打滑。制动系统使汽车及时停下，或至少能够充分减速，减轻碰撞的冲击。

因此，汽车的五大要素不是各自独立的，而是互相影响。其中的任何一个都无法独揽大局。没有性能短板、整体运转协调的汽车才称得上是真正的好车。

说句题外话，以上所述也是选车的关键。汽车的某一个性能突出，可能意味着其他方面存在缺陷。反之，各方面性能较为平衡的汽车，才能使人们感受到持续的满足和快乐。

1.2 使汽车发动的物理原理

1.2.1 汽车因热而动、因热而停

为了实现这五大要素，一台汽车需要由大约 2 万个零件组成。搭载着复杂的装置，通过各装置间的密切协作，汽车才能行驶、转向和停车。在详细讲解各个装置之前，我想先谈一谈我常常思考的“汽车究竟是什么”这一问题。

汽车是与物理密切相关的交通工具。说到这儿，大家可能会排斥道：“讲什么物理呀？我又不是理科生。”先别急。虽说汽车行驶遵循的是物理原理，但我会以日常生活中谁都会经历的事情为例来解释。我讲的这些连孩子们都懂，所以不要搞得像是在学校学习课本一样。

首先，我常常觉得“汽车因热而动、因热而停”是一件很有意思的事情。转动汽车钥匙，首先会启动发动机。这里我先简单介绍一下**发动机的结构**（图 1.2）。

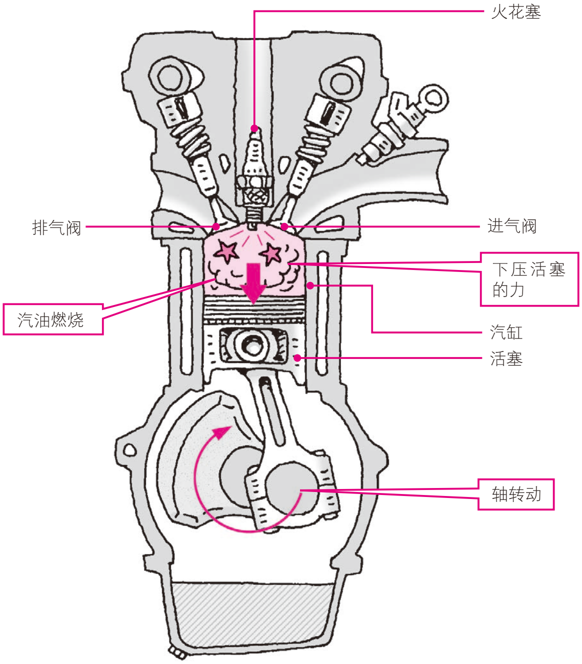


图1.2　发动机的结构
由汽缸和活塞组成，燃烧汽油和空气混合而成的混合气体，利用混合气体的膨胀产生旋转力。

发动机中有**汽缸**和**活塞**，汽油在汽缸中的燃烧室内进行燃烧。由汽油和空气混合而成的混合气体被送入燃烧室内，燃烧发热后膨胀。

气体（混合气体）膨胀下压活塞，从而带动活塞下的轴转动。发动机输出的旋转力传递到轮胎，使轮胎转动。这样一来，汽车便“因热而动”了。

那么停车时又是怎样的呢？是用**制动器**使轮胎停止转动的。制动时，**制动垫**夹住与轮胎一起转动的**制动盘**。接着，盘和垫之间就会产

生摩擦，摩擦产生热量（图 1.3）。

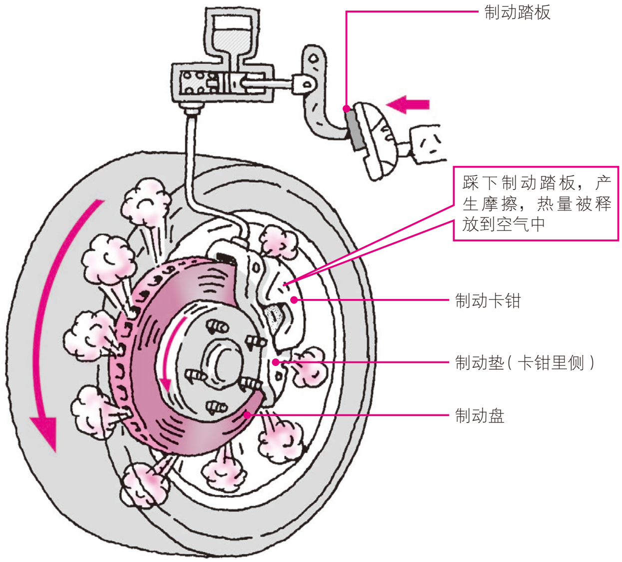


图1.3　制动器将摩擦热释放到空气中，汽车停止行驶
踩下制动踏板，附着在制动卡钳里侧的制动垫夹住与轮胎一起转动的制动盘。两者摩擦产生热量，进而被释放到空气中。

这与天冷的时候摩擦双手就会暖和是一样的道理，因为双手摩擦会产生热量。制动盘与制动垫相互摩擦，生成的热量被释放到空气中。

这样一来，通过将旋转轮胎转化成的热量释放到空气中，使汽车减速直至停止。不只是汽车，自行车等的制动原理也是一样，即“因热而停”。

汽车的确是“因热而动、因热而停”的交通工具，是通过反复进行热交换来实现行驶和停车的。电动汽车等不使用发动机的汽车不是因热而动，但与发动机汽车一样，是“因热而停”。

1.2.2 轮胎也受“热”的影响

具备行驶、转向、停车这三大要素的汽车，其轮胎也与“热”有着密切的联系。轮胎是汽车与路面的唯一接触点，是解释“热”对汽车的重要性的关键所在。

轮胎由黑色橡胶制成。这种橡胶受热时会产生黏性，冷却时会变硬。受热时会变软，更容易紧贴地面，即处于所谓的“抓地力强”的状态。相反，冷却时变硬，不容易紧贴地面，抓地力就弱。汽车行驶时轮胎与地面接触产生弹性变形，橡胶因摩擦而生热，从而使得轮胎的抓地力变强。在高速公路上行驶时，你不妨中途在服务区停车，亲手摸一下轮胎的触地面，会感觉有点儿烫。

比赛用胎是轮胎橡胶受热影响的极端例子。当轮胎触地面的橡胶温度达到大约 80 度时抓地力（黏着力）最强。在汽车行驶过程中，轮胎与地面频繁接触，橡胶温度极速升高，抓地力也不断增强。相反，由于在升温的过程中前轮胎抓地力是很弱的，便催生出了在赛前使用类似电热毯等布罩包裹轮胎以提高其温度的策略。

另外，冬天使用的无钉防滑轮胎采用了一种特殊的橡胶，即使在冰上也能保持柔软性。轮胎与地面接触时，柔软性好的橡胶易产生弹性变形，从而更容易摩擦生热，增强轮胎的抓地力。用手指按一下无钉防滑轮胎触地面的橡胶就会发现它非常柔软，手指很容易陷进去并且留下指痕。相反，用手指按一下买车时配备的标准轮胎（业界称为夏季轮胎）的触地面，就很难留下指痕。

无钉防滑轮胎采用的是质地柔软的橡胶，在炎炎夏日的柏油路上会因过于柔软而绵软无力，很难行驶。之所以区别春夏秋时使用的标

准轮胎（即夏季轮胎）和在冬天（特别是在下雪和结冰时）使用的无钉防滑轮胎，原因就在于此。

总之，只有充分利用轮胎所用橡胶的特性和热量，汽车才能正常行驶。

1.2.3 借助作用力与反作用力转向

接下来，我将讲述汽车是如何充分利用“作用力与反作用力”这一物理原理的。学文科的人或许又会抱怨啦：“又来了！”就请再稍稍忍耐一下吧。

与之前讲过的“热”一样，作用力与反作用力也是日常生活中我们能够真切感受到的物理原理。“热”和“作用力与反作用力”都是汽车利用到的重要物理原理。

驾驶员转动方向盘使汽车转向时，轮胎需要克服离心力。克服离心力的力量来自于轮胎触地时摩擦产生的抓地力。

这样一来，摩擦就发挥了阻力的作用。就如同即使托盘稍稍倾斜，玻璃杯也不会滑落一样，都是摩擦在发挥作用。在玻璃杯即将滑落时，摩擦会充当阻力的角色，防止其滑落。

思考一下托盘和玻璃杯的关系就会发现，抓地摩擦即为使车停止的阻力。轮胎却利用这一阻力加速、转向和前进。

还记得在学校学过的“作用力与反作用力”吗？老师肯定讲过：“你用手推墙，会感觉到墙也在推你。”用手推墙，墙虽不动，推的人却能感觉到一股墙好像也在推自己的反弹力（图 1.4）。这就是“作用力与反作用力”。

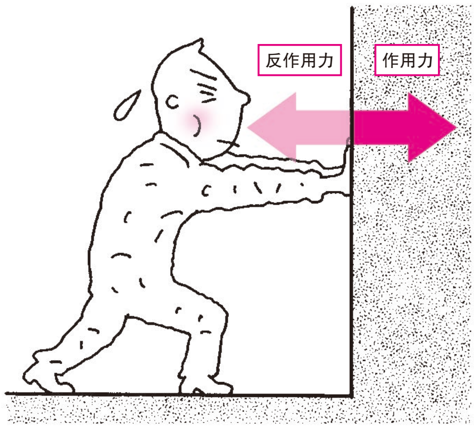


图1.4　作用力与反作用力

人们把这种反弹力称为阻力。即使对方不是墙而是人，也能感到“对方也在推自己”或者说“受到反弹力”。通过阻力或者反弹力，人们被推向用力方向的相反方向。同样，这一现象也会发生在轮胎与地面之间。轮胎与地面之间产生的摩擦变为阻力，抵抗轮胎的旋转，从而转化为汽车前进的动力。

如果没有摩擦生成的阻力，轮胎就无法推动汽车前进。摩擦产生的抓地力越大，阻力越大，汽车就能更快地行驶和转向。

路面有雪或结冰时轮胎容易打滑，不易行驶，这是因为水会减小轮胎与地面之间的摩擦（产生反作用的阻力）。人在用手拿物品时，如果手上有水或者油，就容易打滑，很难拿住物品。相反，如果手和物品之间没有水和油，摩擦就会变大，也不会打滑，就能很牢固地拿住物品。

由于摩擦能够防滑，因此在干燥的柏油路上不易打滑。因为路面阻力大，所以汽车容易加速。

为了实现行驶、转向、停车这三大要素，汽车很好地利用了“作用力与反作用力”以及之前所讲的“热”等基本物理原理。之所以在本章开头说“汽车是与物理密切相关的交通工具”，就是因为汽车遵循了上述基本原理。

1.2.4 充分利用物理原理采取安全措施

在提高安全性方面，汽车同样充分利用了物理原理。

之前所讲的轮胎与路面间的摩擦，实际上是有限度的（图 1.5），表示这一限度的图形叫做**摩擦圆**。汽车处于摩擦极限以下，即以摩擦圆内侧的速度行驶是安全的。但如果加速至超过摩擦极限，转向时汽车就会飞离路面。之所以雨天因打滑引起的交通事故多发，就是因为汽车超过了摩擦极限。尽管速度很慢，但水减小了轮胎与路面间的摩擦。

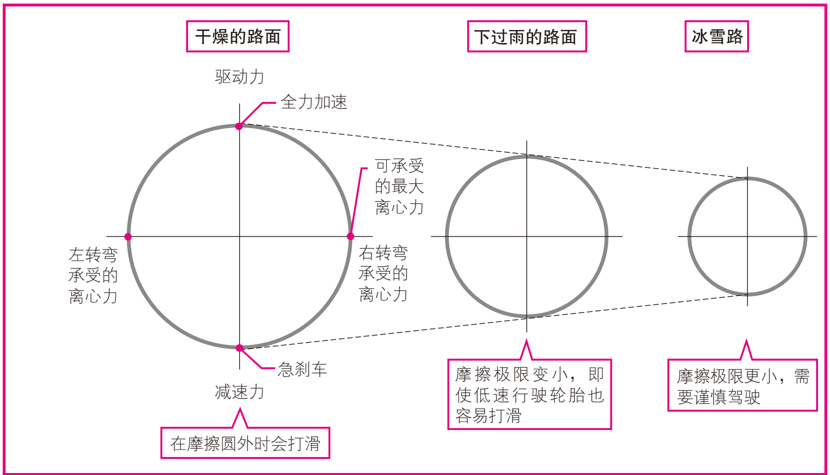


图1.5　轮胎的摩擦圆
摩擦圆表示轮胎的摩擦限度。如果轮胎受到的力超过摩擦极限，汽车就无法正常行驶。摩擦圆的大小取决于路面状况。

回想一下我们之前讲过的托盘和玻璃杯的例子。即使托盘稍稍倾斜，玻璃杯也不会滑落。但是如果倾斜幅度较大，就很容易滑落。托盘倾斜幅度的大小，就类似于汽车的超速程度。那么，如果在托盘上洒些水会出现什么情况呢？只要托盘稍稍倾斜，玻璃杯就会滑落。这是因为托盘和玻璃杯之间有水，防滑的摩擦就会减小，即使托盘稍稍倾斜，玻璃杯也会滑落。总之，充当阻力角色的摩擦极限会依实际情况而变。

最近，汽车都配备了驾驶辅助系统。在面临危险等紧急时刻时，它可以运用电子控制系统进行自动调节，以防汽车超出摩擦极限。看似平坦的柏油路，其实表面上或有起伏，或有检修孔[①]，或有白线。为了解其影响，行驶过程中传感器会检测时时变化的轮胎与路面摩擦的关系。并且，当汽车即将超过轮胎与路面间的摩擦极限时，驾驶辅助系统会通过控制加速器或启动制动器自动减速，保证汽车紧贴路面。

即便如此，轮胎产生的力也无法超出原有的抓地力。驾驶辅助系统不是魔法，只是遵循并最大限度地利用物理原理的一种手段。

发生撞击事故时的安全措施也利用了物理原理。汽车通过破坏车体（使之变形）来缓解冲击力，反向利用了“作用力与反作用力”，即受到撞击时，为使反作用力不伤及人身安全，受到撞击变形的车身吸收了部分冲击力，以此缓冲来自外界的强大的力量。

安全气囊也是同样。当乘员的上半身撞到装满空气（实际上是氮气）的气球状的安全气囊时，气球就会变形。通过其变形减小反作用力，从而将受伤几率控制在最小范围内。这也是应用了“作用力与反作用力”。

① 锅炉、下水道供人出入检修用的出入口。——译者注

1.2.5 汽车巧用物理

如前所述，汽车的制造充分利用了物理原理。利用产生“热”的力以及连孩子们都能感受到的“作用力与反作用力”等简单的物理原理，汽车才能行驶、转向和停车。掌控各个动作的装置，分别是发动机和动力传动系（行驶），方向盘（转向）和制动器（停车）。

有助于实现“舒适性”的悬架、保证安全性的电子控制系统以及吸收撞击力的车身，都是在利用物理原理发挥其作用。汽车制造技术，是充分利用物理原理的结果。

因此，作为一种交通工具，为满足行驶、转向、停车、舒适性和安全性这五大要素，汽车充分利用了各种物理原理。虽然汽车生产商们想方设法开发各种最新技术，但其作用的发挥，都离不开上述物理原理。

1.3 汽车行驶、转向直至停车的过程

1.3.1 动力传动系驱动汽车

从第 2 章开始，我将逐个详细介绍汽车的五大要素：行驶、转向、停车、舒适性和安全性。第 1 部分包括第 2 章 ~ 第 7 章，介绍汽油动力车。第 2 部分包括第 8 章 ~ 第 9 章，介绍电动汽车和混合动力汽车等新一代汽车。

在详细介绍各要素的过程中，你或许无法形成对汽车的整体印象。为了避免这种情况，我先大体解释一下汽车行驶、转向、停车这三大

要素的实现顺序。为了使你能够追随结构理解这一过程，我就以目前的主流汽车——汽油动力车为例进行介绍。

首先是行驶。顾名思义，行驶指的是汽车发动、加速并保持一定速度前进的过程。在此过程中，动力传动系发挥了重要作用。它是将发动机输出的旋转力传递至轮胎的装置。

请看图 1.6。这是发动机前置、后轮驱动的**前置后驱车**（FR，Front Engine Rear Drive）的透视图。此外，根据发动机和驱动轮所在的不同位置，还有**前置前驱车**（FF，Front Engine Front Drive）、后置后驱车（RR，Rear Engine Rear Drive）和中置后驱车（MR，Midship Engine Rear Drive）等类型，以后我还会详细介绍各车型。由于前置后驱车的装置结构简单易懂，所以本书全部以前置后驱车为例进行讲解。

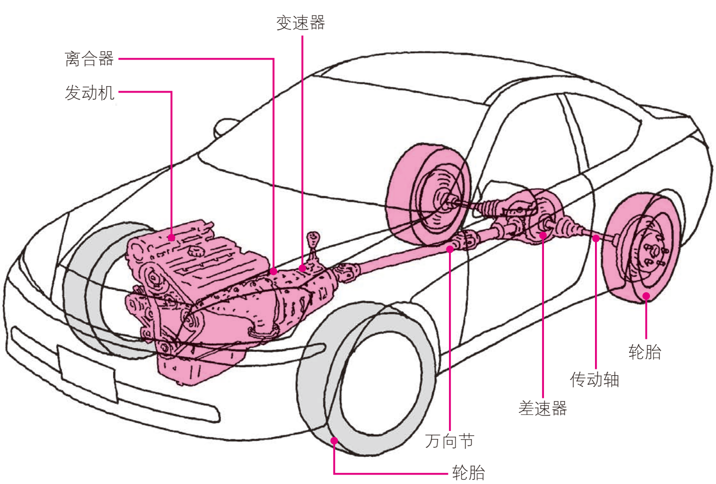


图1.6　汽车的动力传动系
以前置后驱车为例

请看图 1.6 透视图中间的驾驶室。你能看到前面的发动机室里装着发动机吗？由燃料（汽油等）和空气混合而成的混合气体在发动机内燃烧，因热膨胀的气体产生下压活塞的力。下压力使轴旋转，即为发动机所做的功。紧接着，旋转力传递至动力传动系。

从发动机到后轮，动力传动系依次包括**离合器**、**变速器**、**万向节**、**差速器**和**传动轴**。你可以与图 1.6 中的着色部分一一对应。

离合器负责切断发动机输出的旋转力。当驾驶员踩下离合器踏板时，旋转力被切断，位于离合器后面的变速器的齿轮也会分离。

由于齿轮的分离，旋转力完成变速，并通过万向节传递至差速器。在差速器中，由多个齿轮组合而成的装置，其旋转力将从发动机径直传向差速器并左右分散，通过**传动轴**传至后轮。由此，后轮轮胎转动，汽车才能行驶。

1.3.2 转向系统实现汽车转向

众所周知，“转向”即为改变汽车的行驶方向。转向时，是**转向系统**在发挥作用。所谓转向系统，是指通过转动**方向盘**改变前进方向的装置，由方向盘、转向轴、转向齿轮箱和横拉杆组成。

请看图 1.7。你能看到在驾驶室中方向盘的位置吗？它前面连着的轴就是**转向轴**。

转向轴的前方连着的小箱子就是**转向齿轮箱**。方向盘的转动经过转向轴传递至转向齿轮箱。

在转向齿轮箱中装有一个齿轮组，转动方向盘后是通过齿轮组来调整汽车行驶的方向的。

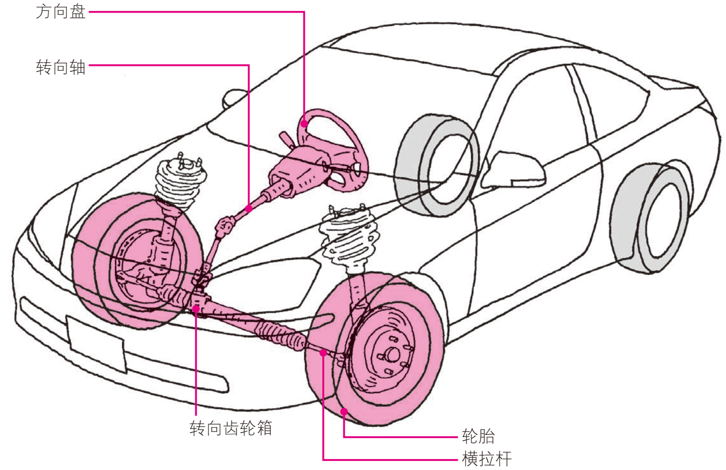


图1.7　汽车的转向系统

横向传递径直传来的旋转力，在某种意义上它与动力传动系中差速器的传递路径相似，都是通过齿轮组结构，将纵向传递来的力横向传递出去。

在转向齿轮箱中，将左右方向的移动转变为横向移动，并通过一种被称为**横拉杆**的连接棒传递至刹住前轮的车轴，从而改变前轮方向。由此，汽车改变了前进方向，完成了转向。

1.3.3 制动液传递制动压力，使轮胎停止转动

现在让我们来看一下“停车”。所谓停车，是指汽车减速直至停止的过程。在这一过程中，是制动器在发挥作用。如图 1.8 所示。

在驾驶室的方向盘下，有一个**制动踏板**（实际上是有三个踏板，中间的是制动踏板）。根据杠杆原理，当驾驶员踩下制动踏板时，位于驾

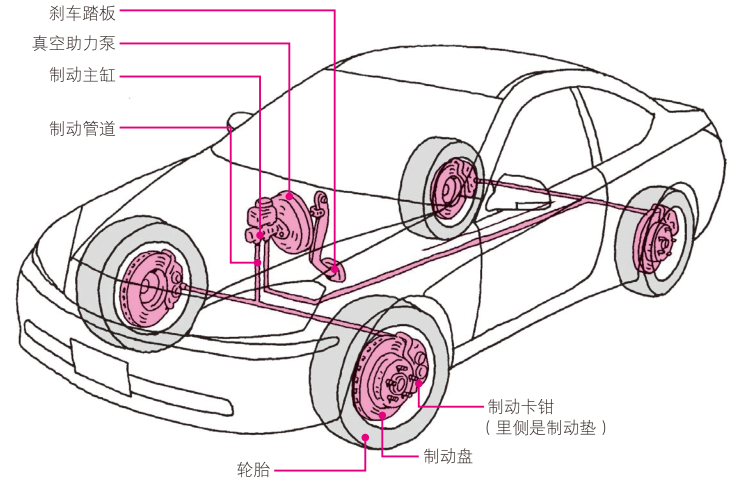


图1.8　汽车的制动系统

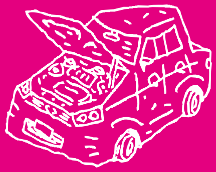
驶室和发动机室之间的**制动主缸**的活塞就开始运动。活塞的下压会给制动主缸内的制动液施加压力，压力通过**制动管道**传递至 4 个轮胎。

在轮胎内侧，可以看到有圆盘状的**制动盘**和夹住制动盘的**制动卡钳**。受到压力的制动液将压力传递至制动卡钳，下压液压缸中的活塞。活塞受力，制动垫就会从两边夹住制动盘。受到制动垫左右夹击的制动盘因摩擦生热，热量随即被释放到空气中。这样一来，汽车降低了速度，不久就会停止行驶。

以上就是汽车的行驶、转向和停车三大要素的大体顺序。从下一章开始，我将从驾驶员转动钥匙启动发动机开始，更加详细地依序介绍汽车的结构。

Column

汽车辟谣



世界上最早的汽车真的是三轮车吗?

“铃铃铃”,编辑的电话响了。

编辑: 到德国了吗?

记者: 嗯,现在在斯图加特[①]呢。我刚知道世界上最早的汽车居然是三轮车!

编辑: 真的吗?快给我仔细讲讲,不然我可不信。

记者: 120 年前,也就是 19 世纪,1886 年 1 月 29 日这天,卡尔·本茨在德国获得了汽油动力车的专利。世界上最早的发动机汽车就诞生了,它就是三个轮子的。

编辑: 真想不到它是个汽车。结实吗?

记者: 当然啦。大概因为乍一看像一辆异形马车,当时它还被称为“无马马车”呢。

编辑: 那为什么是三轮的呢?马车可是四个轮子。

记者: 同为德国人的戈特利布·戴姆勒[②]给马车装上发动机改造而成的汽车确实是四个轮子的。最早发明三轮汽车的卡尔·本茨却认为,马车的两个前轮由一根车轴连接,并通过这一整体来改变行驶方向,因为人需要很大的力量转动方向盘才能改变前轮的方向,因此只适合由马牵引,而不适用于汽车。而且他认为拐急弯的时候很容易翻车。

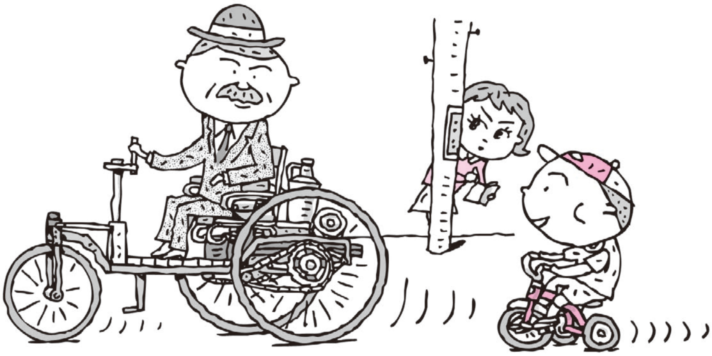
编辑: 别说得就好像你见过卡尔·本茨似的。那三个轮子的就不容易翻车了吗?

记者: 当然啦,速度越快越容易翻车。但是本茨那辆最早的车,车速仅为每小时 15 公里。

---

① 德国西南部城市。——译者注

② 德国工程师和发明家,现代汽车工业的先驱者之一。——译者注



编辑：那么慢啊？！

记者：是啊。和马拉车的速度一样。这车确实是用来代替马车的。

编辑：我知道了，接着说吧。

记者：翻车的危险还好说，关键是人得能够轻松掌控方向盘。来德国后，我还试了试卡尔·本茨三轮车的仿制车，掌控方向盘确实很重要。

编辑：有仿制车吗？

记者：生产了几台。据说日本的丰田博物馆里就有一台。

编辑：那是什么时候变成四轮车的呢？

记者：发明三轮车 7 年后，也就是在 1893 年，卡尔·本茨发明的第二辆车就是四轮的。

编辑：花了很长时间啊。

记者：四轮车的前轮驱动结构也运用在了现在的汽车上。转弯时，四个轮子的转弯半径各不相同。司机会结合弯道的实际情况决定方向盘的转动程度，以改变前轮的转弯角度。

编辑：原来如此。这还真是项大发明啊！

记者：卡尔·本茨不仅发明了汽车以取代马车，还力图给汽车提速，并且希望汽车能够更加安全顺利地转弯。他的丰功伟绩至今仍广为传颂，大概就是因为这个吧。

编辑：真有趣。快写成报道传给我。我可一直等着像卡尔·本茨这样有深度的报道呢。

记者：哎呀，真是有难度啊。

第 1 部分

汽油动力车篇

第 2 章 ~ 第 7 章讲解汽油动力车的结构。汽车在发动机中燃烧汽油，产生使轮胎转动的力，进而通过切换齿轮向前行驶。随后转动方向盘转向，最终踩下制动踏板停车。在这一部分，我将介绍汽车进行这些动作时的内部机制以及保证汽车安全舒适的技术。

第2章

行驶

——发动机是汽车的心脏

热身问答

阅读正文前，让我们先回答下面的问题来热热身吧。

问题

下列哪个国家的哪位发明家最先发明了发动机？

1. 卢森堡的艾蒂安·勒努瓦
2. 法国的阿尔方斯·比奥·德罗夏
3. 德国的尼古拉斯·奥古斯特·奥托

答案

1. 卢森堡的艾蒂安・勒努瓦

解析

出生于卢森堡的勒努瓦在 1859 年发明了二冲程燃气发动机。

发动机有二冲程和四冲程之分。二冲程是指活塞每上下往复一次，燃烧一次，而四冲程是指活塞每上下往复两次，燃烧一次。汽车业界将二冲程和四冲程分别简称为二冲和四冲。本书将以汽车中使用较多的四冲程为例进行讲解。

勒努瓦发明的二冲程燃气发动机，其所用燃料不是汽油等液体，而是气体。据说它最初不是汽车的发动机，而是为工厂提供动力的固定装置，当时制造了 400 多台。1861 年，搭载这一发动机的世界上最早的汽艇完成了环塞纳河航行，这在当时备受关注。

1863 年，也就是勒努瓦发明二冲程发动机的两年之后，法国人阿尔方斯・比奥・德罗夏发明了四冲程发动机，它也是燃气发动机。

13 年后，即 1876 年，奥托在德国获得了四冲程发动机的专利。所以也有说法称，奥托之所以获得专利，是因为他发明了四冲程发动机。

虽然我们问题的正确答案是“卢森堡的艾蒂安・勒努瓦”，但也请不要忘记德罗夏和奥托。因为如果没有他们两人，也就没有我在本章中要讲解的四冲程燃气发动机了。

本章重点

在第 2 章中，我将讲解驱动汽车的动力源——发动机的结构。发动机由多个零件构成，它们相互作用产生几马力到几百马力不等的力量驱动汽车。在本章中，我会依序解释发动机如何燃烧汽油、如何将燃烧产生的“热量”转化为驱动汽车的“旋转运动”。那么，让我们从转动汽车钥匙启动发动机开始说起吧。

本章看点

（1）启动发动机

为启动静止的发动机，首先需要使起动机（电子启动器）开始运转。转动点火开关钥匙，起动机开始运转，随即启动发动机。我将首先解释一下起动机的功能。

（2）将空气与汽油混合后的混合气体送入发动机

转动起动机启动发动机后，空气与汽油混合后的混合气体会被吸入发动机内的汽缸。我将解释混合气体是如何产生并被充分吸入汽缸的。

（3）压缩混合气体，开始点火

活塞压缩吸入的混合气体，随即开始点火。接着，混合气体极速燃烧，在汽缸内膨胀，下压汽缸中的活塞。这样一来就形成了活塞的上下运动，由上下运动产生发动机的旋转力。我会详细解释这一过程。

（4）净化废气，减小噪声

混合气体燃烧后会排出废气。废气中含有对人体有害的成分，需要清除有害气体。并且，燃料燃烧时会发出声音，需要减小噪声。我将讲解一下废气的净化和减小噪声的方法。

（5）发动机所用的技术

通过（1）~（4）了解发动机的基本运转原理后，我会在最后介绍一下市售的实体汽车发动机所采用的技术。利用这些技术，发动机就能够更强力、更高效、更顺畅地运转，从而使汽车跑得更快。

（6）从怠速到加快发动机的转速

发动机开始运转时，如果司机踩下加速踏板，则加快发动机的转速，汽车就会开动。我会介绍加速时油门打开、发动机转速加快的状态。

那么，请坐到车里吧，我将从发动机的启动开始讲解。

2.1 启动发动机

2.1.1 从点火开始

驾驶员用钥匙打开车门，坐到驾驶座上。接着将钥匙插入**方向盘**旁边的钥匙孔，向右转动。这样一来，就给汽车通了电。我们将这个动作称为**点火**。

之所以最先给汽车通电，是为了启动发动机、使用车内的空调和音响等电器。点火可以让汽车接入主电源。

智能钥匙系统

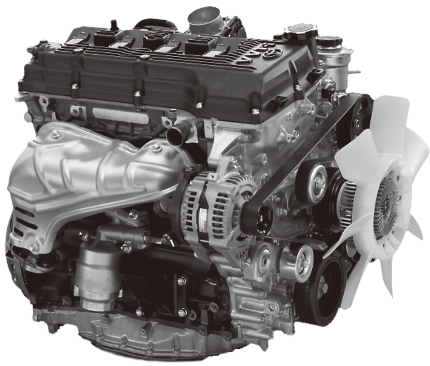
如今，从小型汽车到高级汽车，都采用了利用电波的电子钥匙（即智能钥匙）。当汽车的信号接收器收到钥匙发出的电波时，系统会通过判断信号和预先设定好的识别代码（ID代码）是否一致，来决定是否开启车门。如果手持电子钥匙离开车数米，车门会自动上锁。

每当钥匙的信号发送器和汽车的信号接收器之间传递信号时，识别代码会自动更新，并在下次传递前保持不变。因其组合数量有一亿之多，从而加强了汽车的防盗性能。

使用电子钥匙，就不需要通过将钥匙插进钥匙孔来开关车门。将电子钥匙拿进车内，按下发动机启动按钮，或者转动发动机启动把手，即可点火。

想要开启空调时，可以在点火后打开空调开关。同样，想要启动发动机时，只需将转至点火位置的钥匙再往右转一下，即可启动发动机。

众所周知，**发动机**是汽车的心脏，而汽车是燃烧汽油的（照片 2.1）。那发动机为什么需要通电呢？实际上是为了在最开始时，让汽油进入发动机内的汽缸。用电推动起动机转动，使发动机空转，从而将汽油导入汽缸。



照片2.1　汽油发动机
照片由丰田汽车提供

2.1.2 四冲程发动机的结构

下面我就来解释一下启动发动机后，是如何将汽油吸入发动机内的汽缸的。为了解释这一结构，我需要先讲解一下发动机是如何工作的。

发动机内有**汽缸**和**活塞**（图 2.1），活塞与**连杆**相接，连杆连接着

活塞和**曲轴**。活塞在汽缸中进行上下往复运动，带动连杆，从而使曲轴转动，这就是发动机的基本结构。曲轴的转动沿着传递路径（将在第3章中进行介绍），最终到达轮胎（车轮）。这样一来，发动机的转动带动轮胎旋转，从而驱动汽车。

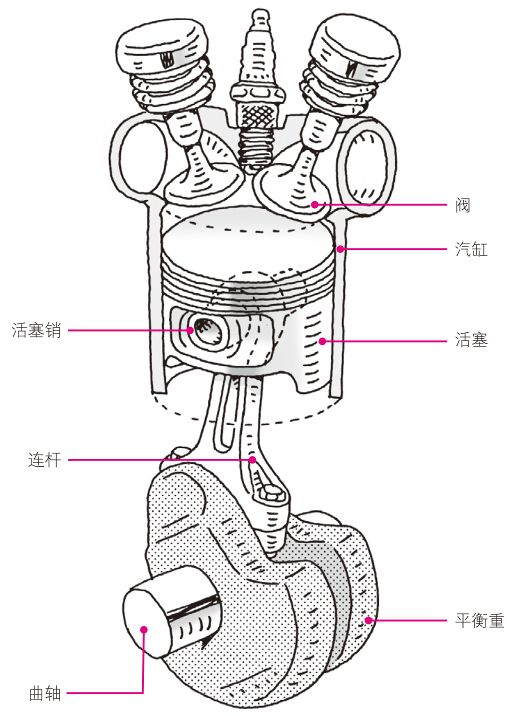


图2.1　发动机的构造

下面我想简单介绍一下活塞的往复运动。活塞的往复运动包括进气、压缩、膨胀和排气四个冲程（图2.2）。因为有四个冲程，所以我们称这类发动机为**四冲程发动机**。在这一过程中活塞上下往复，带动曲轴转动。

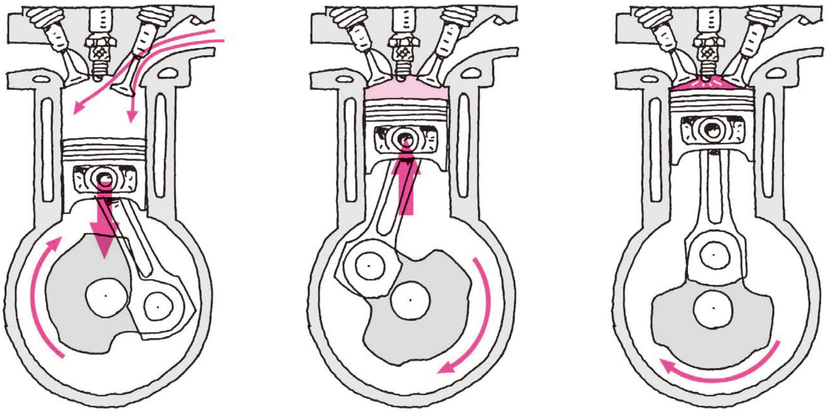


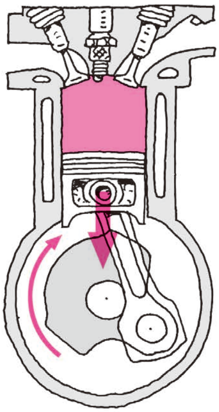
图2.2　四冲程发动机
重复进气、压缩、膨胀、排气四个冲程

首先是进气。在这一阶段，空气与汽油混合后的混合气体被吸入汽缸，我们称之为**进气冲程**。此时，汽缸中的活塞向下运动。

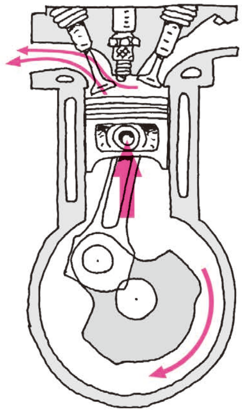
接着是压缩。此时降至下止点的活塞逐渐上升，压缩汽缸中的混合气体，我们称之为**压缩冲程**。

然后是膨胀。活塞升至上止点时，压缩后的混合气体被点燃，开始迅速燃烧。随后，气体膨胀下压活塞。我们称这一过程为**膨胀冲程**。

最后是排气。在这一阶段，混合气体燃烧后残留的煤烟被排出汽缸，我们称之为**排气冲程**。此时，在膨胀冲程中降至下止点的活塞再次上升，并随其上升向外排出煤烟。排气结束时会返回到最初的进气冲程，再次重复压缩、膨胀、排气和进气，带动活塞上下运动。



③膨胀
混合气体膨胀，下压活塞



④排气
活塞上升，完成排气

在四冲程发动机中，直至四个冲程全部完成，活塞总共上下往复了两次。活塞在进气时下压，压缩时上升，膨胀时下压，排气时上升。活塞上下往复两次，带动曲轴转动两次。也就是说，四冲程发动机每燃烧一次混合气体，活塞往复两次，曲轴转动两次[①]。即燃烧一次转动两次。这就是四冲程发动机。

① 除四冲程发动机之外，还有活塞每往复一次、曲轴转动一次就燃烧一次的二冲程发动机。在二冲程中，膨胀冲程和活塞下压的进气冲程同时进行，排气冲程与活塞上升的压缩冲程同时进行。与四冲程不同，二冲程一边向外排出燃烧的残渣（煤烟），一边压缩混合气体，这一冲程被称为扫气。二冲程发动机具有体积小、能量大的优点，但另一方面也容易造成混合气体和废气的混合。

2.1.3 将活塞的上下运动转化为曲轴的旋转

在四个冲程的反复中，活塞的上下往复是如何转化为曲轴和轮胎的旋转运动的呢？让我来解释一下。

在这一过程中，汽缸、活塞、连杆和曲轴发挥了重要作用。正如图 2.1 所介绍的，连杆连接着汽缸内的活塞和曲轴。而将活塞的往复运动转化为旋转运动的关键，就是这四个零件中的曲轴。

如图 2.3 所示，曲轴是一根凹凸不平的轴。凸出的部分连接着连杆的一端，连杆负责将活塞的运动传递至曲轴。活塞上下运动带动连杆上下运动。接着，连杆下压曲轴的尾部，曲轴开始旋转。这样一来，活塞的往复运动就转化为了曲轴的旋转运动。

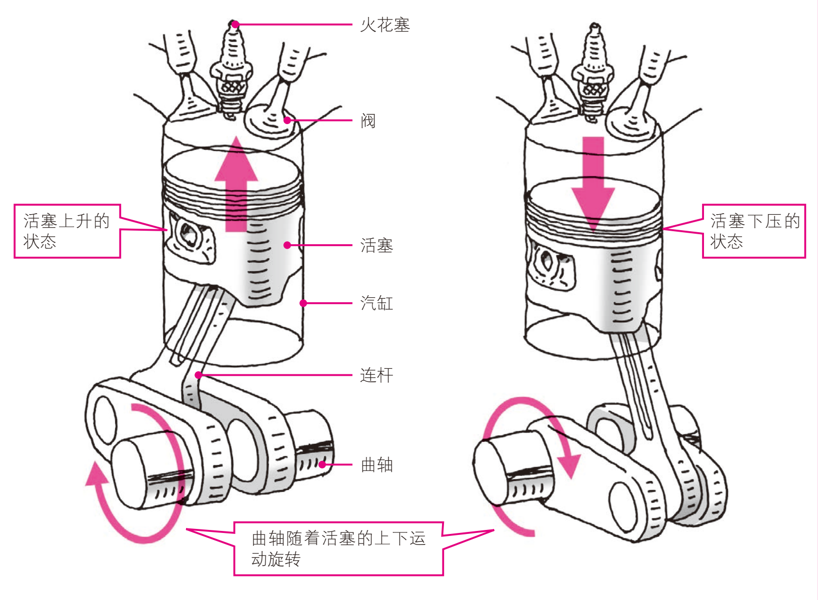


图2.3　将活塞的上下运动转化为曲轴的旋转

让我们再具体看一下。当活塞下压时曲轴的凸出部分也跟着下压，活塞上升时凸出部分也随之向上旋转。接着，活塞再次下压，曲轴的凸出部分也随之旋转下压。这样就形成了曲轴的旋转运动。曲轴凹凸不平的形状有利于其旋转。

2.1.4 启动发动机前先使曲轴转动

到此为止，想必你已经明白了活塞的往复会带动曲轴旋转了吧。也可以说只有曲轴持续旋转，活塞才能不断进行往复运动。如果曲轴不旋转，就无法吸入混合气体，更不能使活塞上升、压缩混合气体。正是因为有了曲轴的旋转，活塞才能上升、压缩、燃烧，完成四个冲程。

那么，怎样才能启动四冲程发动机呢？这就回到了启动发动机时为何需要通电这一话题。为了开始进气和压缩这两个冲程，必须利用外部力量促使活塞上下运动，开启四冲程。也就是说，启动时需要有一个相反的动作，即先用**起动机**促使曲轴旋转，再带动活塞上下运动。

为使曲轴旋转，需要利用蓄电池带动起动机转动。这就是我在本章开头讲到“点火后，再往右拧一下钥匙”时汽车内部发生的动作。

起动机的转动带动曲轴旋转，活塞进而开始往复运动[①]。接着，发动机开始空转。活塞下压时发动机内汽缸中的气压下降，产生吸力，从而将空气和汽油混合后的混合气体吸入汽缸中。随即进入最开始的进气冲程。

发动机真是个奇妙的装置：逆于常序启动发动机，发动机启动后又

① 连接起动机和发动机的曲轴的，是一种叫飞轮的圆盘。我在第 2 章的后半部分会介绍它的结构。

以常序驱动汽车。接下来将要介绍的蓄电池也运用了类似的可逆原理。

2.1.5 用蓄电池供电

之前已经讲过，启动发动机时，需要使用起动机带动曲轴旋转。给起动机供电的电源，就是**蓄电池**。蓄电池多位于发动机室中，也有一些汽车将其置于后备箱里。

图 2.4 展示了蓄电池的结构。树脂外壳中排放着薄而平的铅板，铅板浸泡在稀释过的硫酸（稀硫酸溶液）中。蓄电池利用铅板和硫酸间的化学反应来放电。铅和硫酸反应生成硫酸铅，产生电子从而放电。

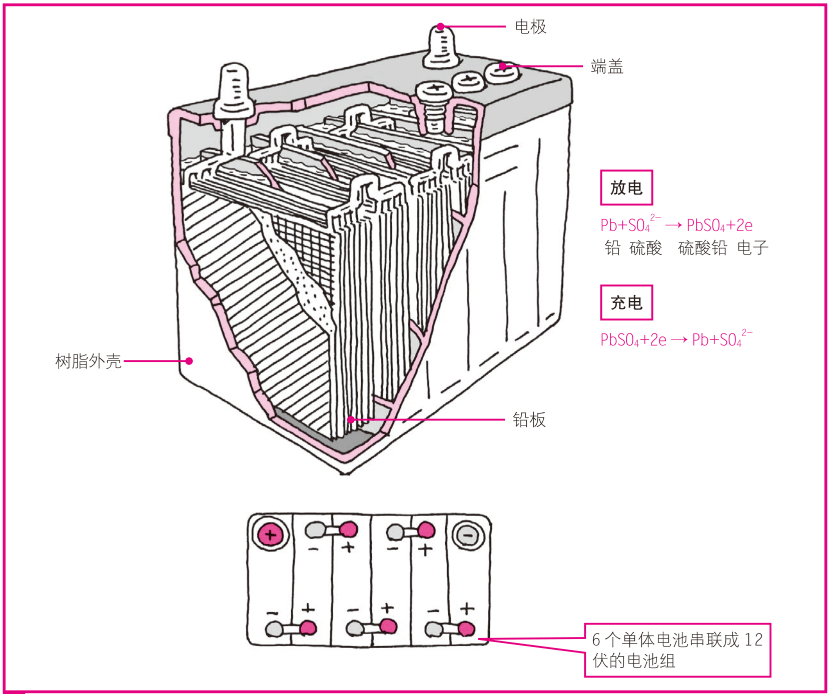


图2.4　蓄电池的结构
利用化学反应，反复充电放电。

蓄电池就是这样利用化学反应来放电的装置。当化学反应的次数达到一定数量时，蓄电池就无法放电了。因此，需要经常给蓄电池充电。反向进行铅板和稀硫酸溶液之间的化学反应，将蓄电池还原至本来的状态。如果不充电，蓄电池就无法放电，即处于所谓的“瘫痪”状态。

给蓄电池充电使用的是**交流发电机**，它是一种依靠发动机动力运转的发电机。启动发动机后，交流发电机持续发电。将其产生的电通入蓄电池，就能保证蓄电池持续放电。

就像我在讲曲轴时所说的那样，蓄电池也是利用可逆原理发挥其作用的。

讲到这里，可能有人会问：既然有了发电机，那发动机启动后不就不需要蓄电池了吗？这样讲也有道理。

但是，交流发电机是小型发电机，其发电能力无法满足汽车全部的用电需要。不仅发动机点火时需要强劲的电力，汽车上还有数量众多的电器，如空调、音响、导航、电动车窗、雨刮器、前灯、刹车灯等也同样需要。

蓄电池对汽车来说意义非凡，汽车依赖蓄电池。你可以把交流发电机看作是防止蓄电池“瘫痪”的装置。

如前所述，如今的汽车配备了数量众多的电器，因此需要使用容量更大的蓄电池。除了这些必要的电器外，如果还想增加其他装置，就需要考虑蓄电池的容量了。电力不足可能会使蓄电池无法给点燃混合气体的火花塞供电，从而导致发动机停止工作。

在雨夜里你可能会遇到这种情况：开着前灯、雨刮器、空调和导航，一边听着耗电量大的音响，一边在堵车的道路上缓慢前行。这时

就有可能会出现交流发电机供不上电、行驶中蓄电池“瘫痪”的状况。此时，你只需关闭其中任何一个正在耗电的电器即可。

让我们从发动机启动开始，再确认一遍汽车的发动顺序。蓄电池放电，转动起动机，起动机带动发动机空转，发动机进入进气冲程开始启动。发动机启动后，只需将向右拧至启动电动机状态的钥匙再往左拧一下，即可点火。

2.2 将空气与汽油混合后的混合气体吸入发动机

2.2.1 雾化汽油，生成混合气体

发动机启动时，空气和汽油的混合气体被吸入汽缸。接下来我将讲解这种混合气体是如何生成的。

汽油是液体，这自不必说。那么，如何将液体的汽油与空气混合呢？物体的燃烧有三个必要条件：可燃物、助燃物（氧气）、点火源。缺少其中任何一个条件，燃烧都无法进行。

在发动机中，汽油是可燃物，助燃物——氧气存在于空气中，点火源来自于火花塞释放出的电火花。之后我还会详细讲述如何利用火花塞引燃混合气体，在这里我先讲一下混合气体的生成方法。

汽化程度越高，液体汽油越容易与空气混合，因此就出现了**燃料喷射装置**。

2.2.2 将燃料注入汽缸的“燃料喷射”

燃料喷射装置先给汽油加压，从喷嘴的喷出口处喷出汽油蒸汽。

这是为了将液体制成细小颗粒以提高其汽化程度。

这就类似于人们缩拢双唇用力喷出含在嘴里的水。水喷出时会变成水雾，通过开闭喷出口，能够调整喷射汽油的时机。实际上，与其说是喷出口，倒不如说是阀门的开闭决定了喷射时机。为了提前给汽油加压，需要用到泵。并且，为了尽快改变汽油的浓度，有必要暂时储存加压后的汽油。

顺便说一下，雾化燃料进行喷射的方法，早先是运用在柴油发动机而不是汽油发动机上。柴油发动机所用的燃料是轻油，不如汽油干燥。因此需要施加更大的压力并强力喷出，才能将其雾化。而且，柴油发动机和汽油发动机燃烧混合气体的方法不同。柴油发动机最初只将空气吸入汽缸，压缩空气后才供给燃料进行燃烧。因此，比起柴油发动机，燃料喷射更适用于汽油发动机以及更高级的发动机。

2.2.3 燃料喷射包括直接喷射和吸气管喷射

燃料喷射有**间接喷射**和**直接喷射**两种方法。其中，直接喷射一般简称为直喷，想必大家也听说过这种说法，但我们一般不把间接喷射简称为间喷。

在发动机中，与汽缸相连的空气通道被称为**吸气管**(或**进气管**)。所谓间接喷射，是指在吸气管前雾化燃料，事先在此生成空气和汽油的混合气体，再将混合气体吸入汽缸。这种方法通常被称为**吸气管喷射**，在之后的讲解中，我就使用这个名称。

直喷与此相反，是指在汽缸中直接将汽油雾化，并在其中生成空气与汽油的混合气体。因为是直接向汽缸中喷射汽油，所以称之为直喷。一般说来，直喷比较省油，所以我想先简单解释一下直喷和油耗

的关系。

一般认为，直喷是针对柴油发动机的，但后来也应用于汽油发动机上。

在引燃用的火花塞（点火栓）附近直接喷射雾化后的汽油，更容易引燃空气和汽油的混合气体。由于越接近火花塞喷射越容易引燃，因此即使汽油和空气的混合比率低于其理想比率（即使汽油量小），也能引燃。所以我们说直喷可以降低油耗。

并且，直喷是在空气被压缩、温度升高时直接喷射汽油。此时汽油迅速蒸发，汽化热使空气冷却，从而增加了空气密度。这与夏天在路面上洒水，水分蒸发会吸收周围的热一样，都是汽化热在发挥作用。如果吸入更多的空气，即使相应地增加汽油量也很难产生余烬，这就大大增加了汽车的马力。

之所以说直喷和**涡轮发动机**契合度很好，就是因为涡轮增压器（详见 2.6.3 节补充内容）能够送入更多的空气。

2.2.4 空气和汽油的理想比例是14.7：1

在此，我先介绍一下空气和汽油的理想混合比率——**空燃比**。我们将理想的空燃比称为**理论空燃比**，一般是指其质量比为 14.7：1，即当汽油质量为 1、空气质量为 14.7 时，汽油刚好燃尽。

以此为界，汽油越多，越容易产生余烬造成浪费。相反，汽油越少，越难引燃，吸入的空气量大但无法充分生成下压活塞的力，即处于发动机大但力量小的状态。

通常，发动机会按照 14.7：1 的比例生成混合气体。要检测发动机

吸入的混合气体是否达到了这个比例，需要用到发动机的**氧传感器**和车载电脑。氧传感器用于检测残留的氧气量，通过测量废气的含氧量，确认发动机是否吸入了燃烧汽油所需的空气量。

当汽油以理想的混合比例完全燃烧时，其效率最高，且发动机排出的废气也很容易得到净化。请牢记，对于发动机来说，有一种“空气和汽油达到理想混合比”的状态。

2.2.5 在直喷中，需要形成旋涡才能很好地生成混合气体

接下来，我将为大家介绍直喷发动机喷射燃料的过程。在直喷中，汽缸中的活塞下压时只吸入了空气，接着活塞开始上升，当汽缸内的压力升高时，就会直接喷射燃料。为了向高压空气中喷射雾状汽油，必须使喷射的压力高于压缩后的气压。因为如果不这样，汽油就无法进入汽缸。

因此在直喷中，需要配备比吸气管喷射还要强劲的燃料泵。我们在地面受到的 1 个大气压，而直喷发动机的燃料泵的压力为 100 个大气压，足足高出了 100 倍。

为了时常保持这样的高压状态，需要强劲的泵和暂时储存加压后的汽油的装置。并且，每一个汽缸都需要一个喷射喷嘴。这必然会相应地增加零件费用，因此直喷多应用于高级车中。

除了价格高，直喷还有其他缺点。由于直喷需要将汽油和空气在汽缸中迅速混合，因此要在活塞头部设置凹槽形成旋涡，以混合空气和汽油（图 2.5）。但是，活塞头部的凹槽会扰乱混合气体的燃烧。而吸气管喷射无需在活塞头部设置凹槽，因此可以顺利进行混合气体的燃烧。

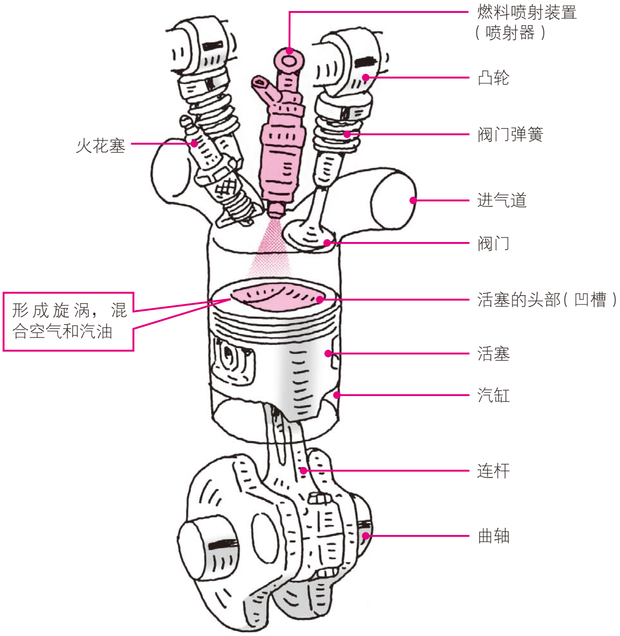


图2.5　直喷发动机
活塞的头部设有凹槽，容易形成旋涡。

直喷和吸气管喷射，究竟哪一种方法能够更好地实现汽油的完全燃烧呢？技术发展日新月异，很难判断谁是最后的赢家。但如果吸气管喷射能够优于直喷实现汽油的高效燃烧，它就可能成为今后的主流。

接下来，我会以吸气管喷射为例，依照事先在吸气管中生成混合气体、再将混合气体吸入汽缸中的顺序进行详细讲解。吸气管喷射是燃料喷射的基础，我会以此为前提进行介绍。至于今后的主流究竟是直喷还是吸气管喷射，我们就暂且不做讨论了。

2.2.6 开启阀门，混合气体进入汽缸

汽缸顶部的**汽缸盖**(端盖)上有**进气阀**。进气阀开启时，空气和汽油的混合气体就会通过**进气道**进入汽缸(图 2.6)。进气阀和**排气阀**是汽缸盖上分别控制进气孔和排气孔的阀门。

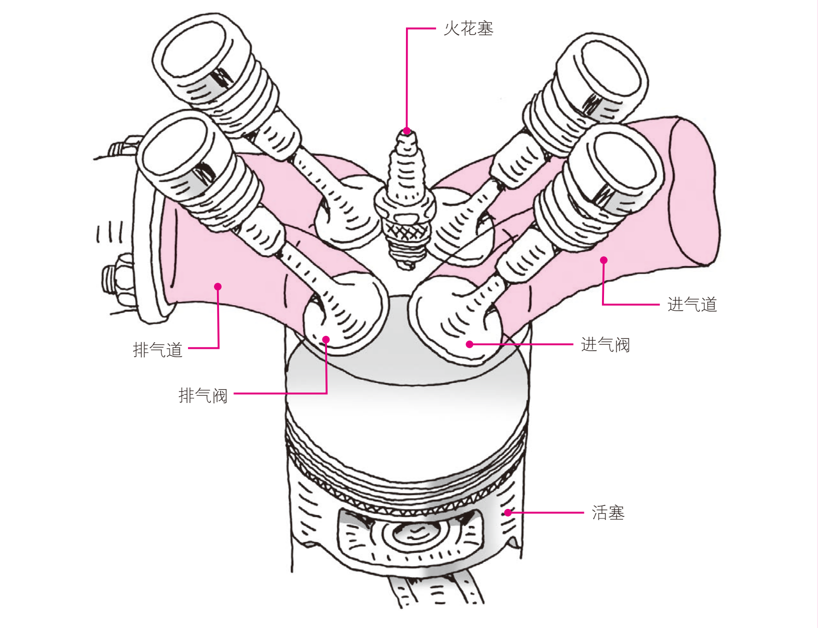


图2.6　发动机的进气阀/道和排气阀/道
经由进/排气道和阀门，吸入混合气体，燃烧后排出废气。

汽缸盖由铁和铝压铸制成，进气道和排气道位于汽缸盖的内侧，是通向汽缸的进气和排气通道。这里所说的进气道，与发动机前面附有燃料喷射装置的吸气管不同，排气道也与通向发动机后面的汽车尾气净化器和消音器的排气管不同。通道与吸气管和排气管相连，但我们只把位于汽缸内部的部分称为通道。

活塞下压时，进气阀随之开启。活塞下压牵引气体，混合气体借机进入汽缸。

进气阀和排气阀分置汽缸盖的左右。如图 2.6 所示，小而圆的进气阀和排气阀紧密排列在圆柱形汽缸里侧的边缘。当右侧两个并排的进气阀开启时，混合气体就会进入汽缸中，这就是进气冲程。

进气阀和排气阀之所以分别有两个，是为了在汽缸这个有限的圆柱中尽可能多地留出进气空间和排气空间。过去，有的发动机只有一个进气阀和一个排气阀，也有的为了增加进排气空间，设置了三个进气阀和两个排气阀。之所以进气阀多于排气阀，是为了增加进气量，燃烧更多的汽油，给汽车提供更大的动力。

在此，我给大家解释一下最常见的四阀组合，即进排气阀各有两个。虽然数量相等，但进排气阀的大小不同，进气阀要比排气阀大一些，这也是为了增加进气量。

进气冲程完成后，在压缩冲程和膨胀冲程中，进气阀和排气阀都处于关闭状态。当膨胀冲程结束后进入之后的排气冲程时，图 2.6 中左侧的排气阀就会开启，从**排气道**中排出废气。

接下来，我来具体讲解一下混合气体进入汽缸时的状态。进气道向汽缸倾斜往下延伸，在进气道的前端有个汽缸盖上的进气口，由进气阀控制其开闭。从汽缸的正上方观察进气阀，会发现它偏向汽缸盖的一侧。

进气道与汽缸斜向相连，且偏向汽缸盖的一侧，这就使得混合气体斜向进入汽缸中。接着，混合气体在汽缸内形成旋涡（图 2.7），充分混合空气和汽油。

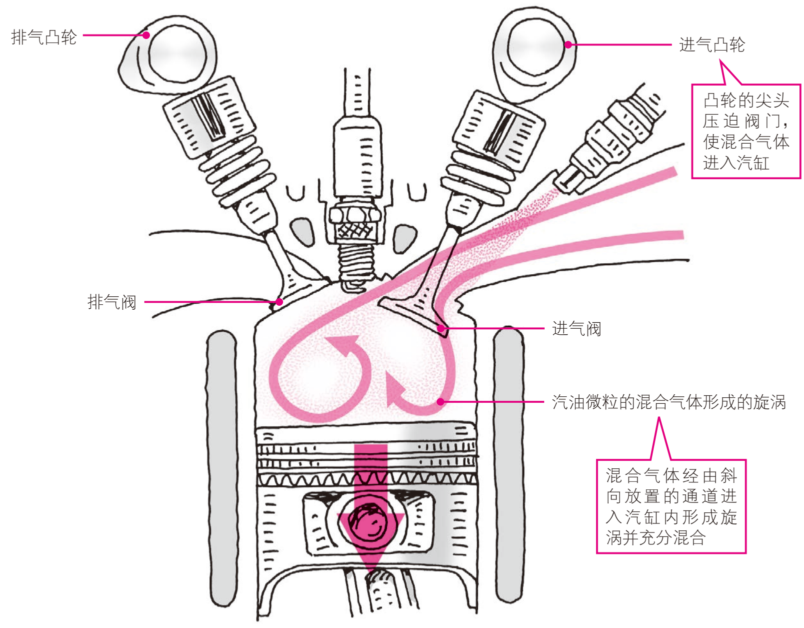


图2.7　在汽缸内形成旋涡
进气道有坡度且偏向一侧，使混合气体形成旋涡并充分混合。

在喝果汁或者混合饮料时，我们会晃动杯子以充分混合杯中物，这时就会形成旋涡。同样，在汽缸内形成旋涡，也是为了充分混合空气和汽油。搅拌后的饮料由于味道均匀，更加好喝。同样，将混合气体均匀、充分混合，也会使汽油迅速燃尽，不留余烬。

当活塞上升、火花塞引燃汽油时，这个旋涡还能加速火苗扩散，加快燃烧速度。如果恰好能在活塞上升到上止点、混合气体被充分压缩时瞬间引燃汽油并燃尽，下压活塞的力就会变大，也就意味着加快了燃烧速度。

请允许我再重复一遍。进气阀位于汽缸盖上，进气道倾斜以便混

合气体流入汽缸，这都是为了使混合气体均匀、充分混合并能迅速燃烧而设计的。

2.2.7 活塞上升，压缩混合气体

刚才说到，混合气体进入了汽缸。之后活塞降至下止点，然后随着曲轴的旋转开始上升。与此同时，进气阀关闭。进气阀的关闭也伴随着活塞的运动。

排气阀始终关闭着，进气阀则处于刚刚关闭状态。当两个阀门同时关闭时，活塞上升，于是其中的混合气体就被压缩了。这就是压缩冲程。

当活塞升至上止点时，与活塞降至下止点时相比，汽缸内混合气体的体积仅为其 1/10。这时我们称“**压缩比**为 10.0”。压缩比越大，发动机做功就越多。即压缩比越大，发动机的效率就越高。

压缩后的混合气体开始燃烧，迅速膨胀后强力下压活塞。压缩比越大，压缩后的体积与膨胀后的体积比越大。因此，随着活塞下压时混合气体体积增大，发动机做的功也就多了。

请记住：充分压缩后再燃烧，能够释放出巨大能量。但是，要增大压缩比，则需要使用**高辛烷值汽油**。

高辛烷值汽油

在加油站，高辛烷值汽油被标注为高标号汽油。

空气压缩时温度会升高。在压缩冲程中，发动机的压缩比越大，混合气体的体积被压缩得就越小，混合气体的温度也会越

高。此时，火花塞引燃混合气体，若其火焰未扩散至整个汽缸，汽油便会自燃。之所以会出现这种现象，是因为火花塞逐渐靠近火焰时，温度不断升高，因此在遇到火焰之前汽油就会自燃。我们把这种异常燃烧称为**爆震**。

一旦发生爆震，整个汽缸内部都会燃烧起来。因此，很难通过迅速燃烧使发动机瞬间获得强大动力。并且，偏离联动活塞的最佳时间燃烧可能会损坏发动机。

因此，加入了添加剂以防止自燃的高辛烷值汽油出现了。

辛烷值是表示汽油抗爆性的指标。辛烷值越高，汽油越难自燃。辛烷值较高，即高辛烷值的汽油，简称为高辛烷值汽油。

包括高辛烷值汽油在内的高级汽油是一种多功能汽油。它混合了除去残存在发动机内的炭（汽油不完全燃烧的产物）之后的其他成分，在制造上要比普通汽油麻烦，附加值很高。

2.3 压缩并引燃混合气体

2.3.1 用电引燃混合气体

压缩完混合气体后，活塞在汽缸中升至上止点，这时就要用电引燃压缩后的混合气体。

用电引燃混合气体的是**火花塞**（点火栓）（照片 2.2）。从汽缸盖的正上方看火花塞，会发现它正好夹在四个进排气阀的正中央。



照片2.2　火花塞
照片由日本特殊陶业提供

火花塞的外部是由陶瓷制成的白色筒状绝缘体，中间通有铁丝，前端附有电极（图 2.8）。电极的前端有个不超过 1 毫米的狭窄间隙。

当给火花塞接通 1 万伏的高压电时，就会从电极前端的狭窄间隙中飞溅出火花，成为点火源引燃混合气体。由于引燃之前混合气体已被充分压缩，所以一旦引燃，火焰就会迅速扩散。火焰传播（火焰扩散）的速度可以达到每小时 50km~100km。

汽缸中混合气体的温度会因汽油的燃烧迅速升至数千摄氏度。同时，汽缸内的压力也会达到 50 个大气压。熊熊燃烧的混合气体不断膨胀，强力下压活塞，此时活塞承受的力甚至可以达到数吨。

在茶叶罐大小的汽缸中瞬间点燃空气和汽油的混合气体，发动机即可产生几吨的力，带动曲轴旋转。

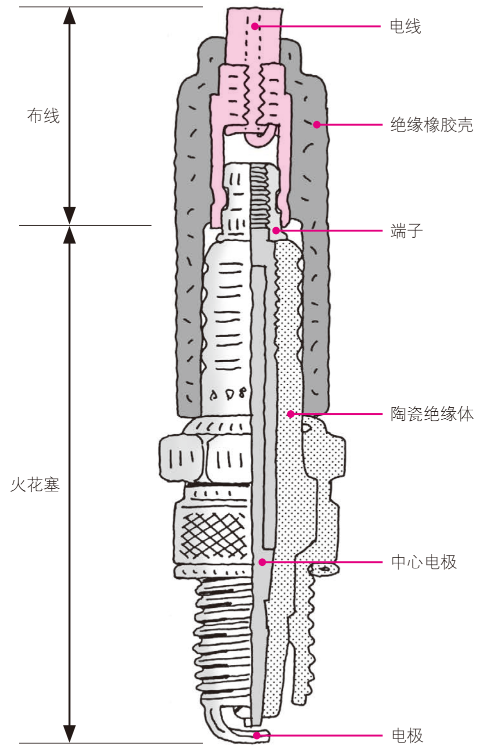


图2.8　火花塞的剖面图

怠速时，汽车发动机的转速为每分钟 500~600 次。如果给汽车安装上发动机转速表，启动发动机后就能知道发动机的转速。加速时，为了让发动机最大限度地做功，发动机的转速甚至可以达到每分钟 6000~7000 次。由于在四冲程发动机中，曲轴每旋转两次就能进行一次燃烧，因此其燃烧次数就是转速的一半，即数吨的力在每分钟可产生 3000 次以上。

能产生如此大的力真是令人相当震撼。

2.3.2 从12伏到1万伏

在上一节中我讲到“为火花塞接通 1 万伏的电”，说起来轻而易举，但实际上汽车中蓄电池的电压仅有 12 伏。你可以回想一下图 2.4 中蓄电池的构造。薄铅板浸泡在稀硫酸溶液中，外面包裹着树脂外壳。每枚铅板产生 2 伏电，那么蓄电池中的 6 枚铅板就会产生 12 伏的电。

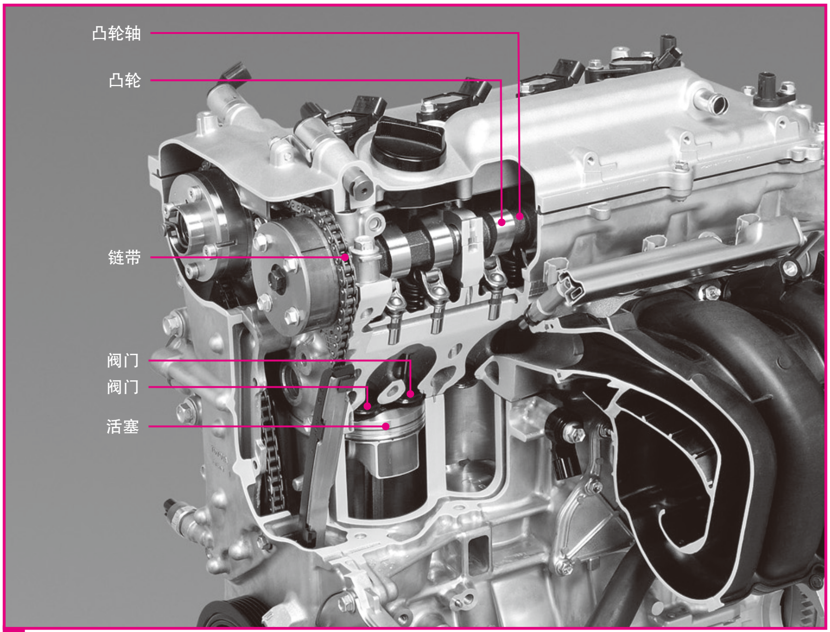
汽车中空调、音响、导航、电动车窗、雨刮器和车灯等电器的运转都是通过这 12 伏电进行的。并且，交流发电机发出的电也是 12 伏。日本的家用电压是 100 伏，汽车的电器所需要的电压远低于家用电压。

然而，仅用 12 伏是无法让火花塞的电极蹦出火花的，因此需要用线圈暂时储存蓄电池放出的电，以便在引燃时瞬间释放出 1 万伏的高压电。线圈是在铁芯上一圈一圈绕上电线的绕组。当储存于铁芯中的电从火花塞前端小于 1mm 的狭窄的电极间隙中释放出来时，就会形成火花。

这一结构利用了电的一个性质，即迅速切断电流能瞬间提高电压。大家使用家用电器的时候大概也有类似的体会。如果在电器未关闭的情况下从插座上拔下插头，插头前端的金属部分就会瞬间跳出火花。这就是因为迅速切断电流时电压会瞬间升高，和发动机的火花塞是同样的原理。

2.3.3 转动凸轮，开启阀门

下面我将讲解一个以前从没讲过的问题，即**凸轮**和始终与凸轮相连的**凸轮轴**（照片 2.3）。



照片2.3　发动机内的凸轮和凸轮轴
照片由丰田汽车提供

之前我讲过，当空气和汽油的混合气体被吸入汽缸时活塞下降，此时进气阀恰巧打开。当时你可能很纳闷活塞和阀门是如何联动的，因为当时这个问题出现在依次解释四冲程发动机的运转过程中，为了避免跑题，我就没有深入讲解下去。现在是时候仔细讲解一遍了。

在时机的契合中发挥重要作用的，正是凸轮。凸轮是控制进气阀和排气阀开闭的零件（图 2.9），呈鸡蛋状，头尖底圆。当转动凸轮使其尖头的前端下压阀门轴时，阀门就会下降。当底部的圆形部分靠近阀门时，阀门就会上升。这一上下运动就带动了阀门的开闭。

凸轮数量与进排气阀的数量相同，凸轮一边转动一边下压阀门。当阀门下降到最低点时，需要借助线圈上弹簧的弹力恢复到原位。

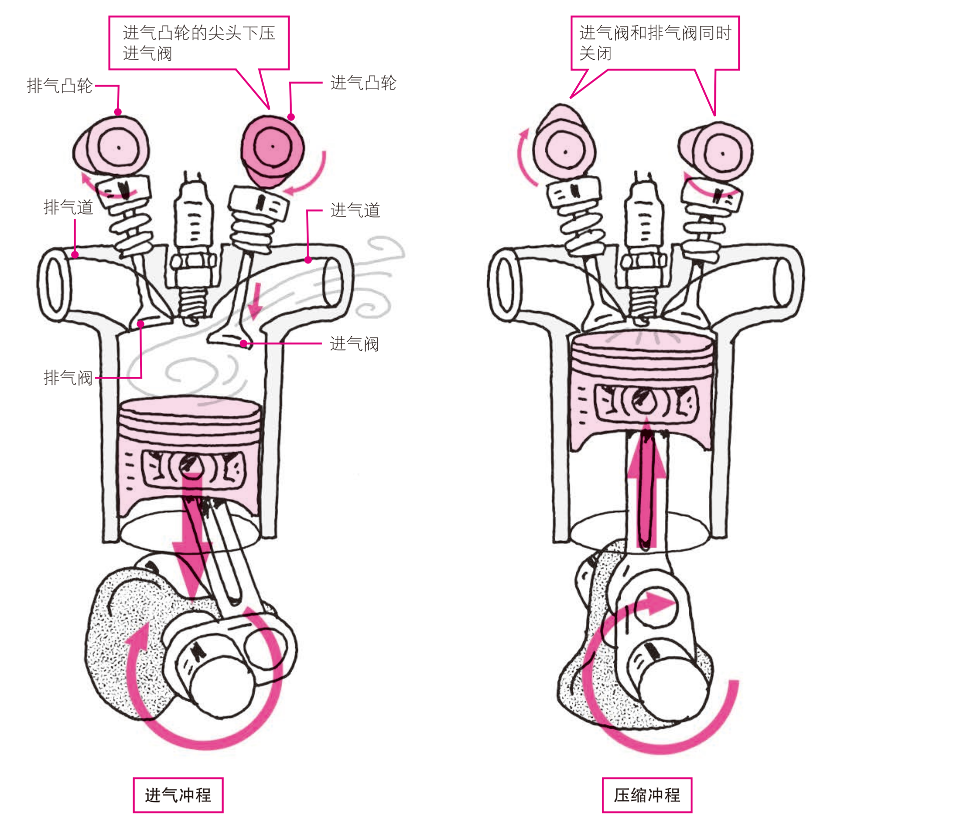
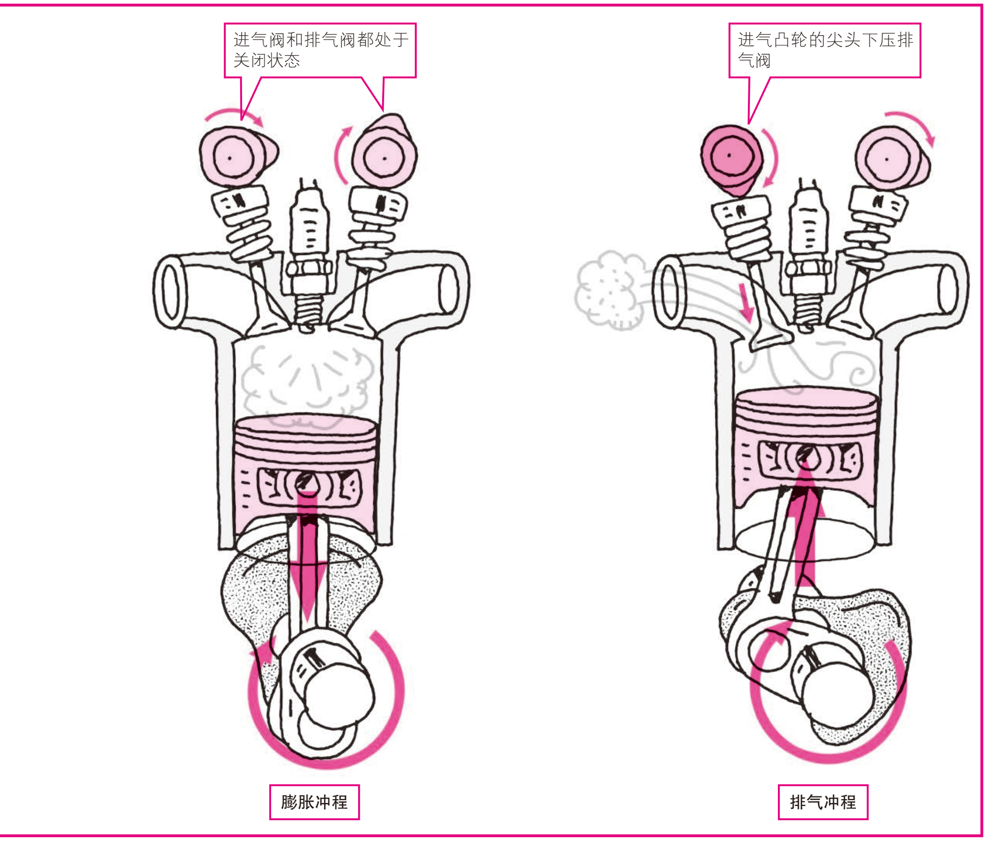


图2.9　凸轮和阀门的联动
凸轮的尖头下压时，联动阀门开启，进行进气和排气。

首先是进气。在进气冲程中，位于进气一侧的凸轮尖头部分下压，随后进气阀下降，进气道打开。此时排气凸轮底部的圆形部分与阀门轴的前端相接，从而使阀门堵住了通道。

在之后的压缩冲程和膨胀冲程中，进气凸轮和排气凸轮的尖头同时上升，此时进排气阀都处于关闭状态。最后到了排气冲程，由于排气凸轮的尖头下压，因此便开启了排气道。



2.3.4 实现凸轮与活塞联动的装置

实现活塞运动与阀门开闭联动工作的装置是曲轴。我曾经讲过，活塞的上下运动带动曲轴旋转，你可以回想一下。利用曲轴的旋转联动活塞和凸轮，就能在恰当的时机开闭阀门。

具体来说，是经由凸轮轴前端的**滑轮**将曲轴的旋转传递至凸轮轴

（图 2.10）。所谓凸轮轴，是指并排放置多个凸轮的轴，凸轮随轴旋转。链条和传动带（或齿轮）连接曲轴和凸轮轴，负责传递曲轴的旋转。

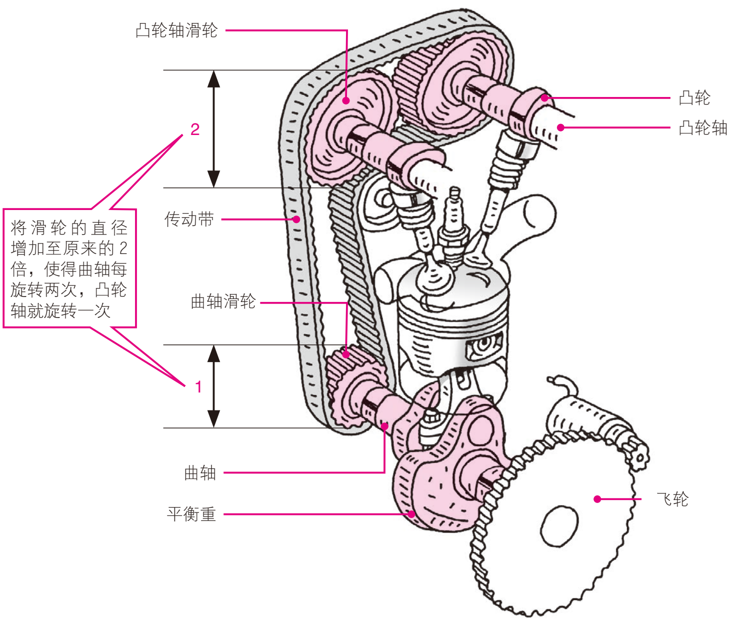


图2.10　曲轴与凸轮轴的联动
利用曲轴的旋转联动凸轮轴旋转，从而带动凸轮旋转。改变滑轮的直径，使得曲轴每旋转两次，凸轮轴就旋转一次。

为了使阀门的开闭时机与四冲程发动机里活塞的运动时机吻合，需要将凸轮轴的转速设置为曲轴转速的一半。正如我之前讲过的，之所以转速是一半，就是因为在四冲程发动机中，活塞每往复两次，进气阀开启一次。排气阀也是如此，即活塞每往复两次，开启一次。

活塞每往复两次，曲轴旋转两次。在曲轴的两次旋转中，进排气阀只开启一次。因此，只需将凸轮轴的转速设置为曲轴的一半，即可

实现进排气阀的开闭。请记住：曲轴每旋转两次，凸轮轴旋转一次。

那么，怎样才能将凸轮的转速设置为曲轴转速的一半呢？其实很简单。由于曲轴和凸轮轴是通过链条和传动带（或齿轮）实现联动的，因此只需将凸轮轴一侧的滑轮（借助链条和传动带实现联动时）和齿轮的直径设置为曲轴一侧直径的两倍即可。

但是必须要错开进气阀和排气阀的开启时机。当开启进气阀、向汽缸中吸入混合气体并进行压缩时，如果打开排气阀，混合气体就会被释放出来。而当混合气体燃尽、进入随后的排气冲程时，需要随着活塞上升从汽缸中排出废气，这时就必须开启排气阀。

也就是说，如果以活塞的往复为基准，只需留出活塞在压缩和膨胀冲程中往返一次的时间，即曲轴旋转一次的时间，即可错开进气阀和排气阀的开启时机。这也意味着，为了错开开启时机，需要确保进气阀上凸轮的尖头和排气阀上凸轮的尖头朝向不同。

2.3.5 曲轴和凸轮轴还会影响引燃时机

凸轮轴还决定了火花塞跳火的时机（图 2.11）。

当活塞上升压缩混合气体时，火花塞会瞬间蹦出火花。与进排气阀的开闭相同，曲轴每旋转两次，火花塞就会跳火一次。因此，火花塞的跳火速度与凸轮轴的转速都是曲轴转速的一半。

为了借助凸轮轴的旋转实现火花塞跳火，需要用到**配电盘**（配电柜）。配电盘经由线圈与蓄电池相连，就像我在“从 12 伏到 1 万伏”中讲到的那样，为了使火花塞跳火从而引燃混合气体，首先要给线圈施加高电压。之后电流传递至配电盘，给火花塞通电。配电盘根据凸轮

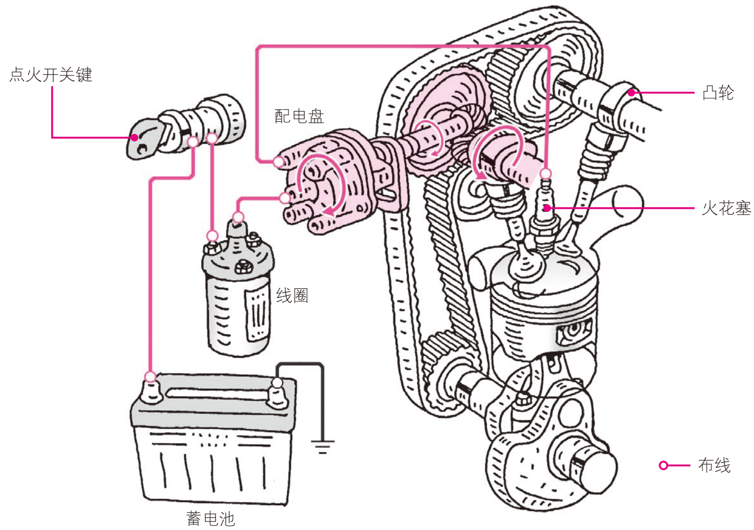


图2.11　凸轮轴和火花塞的布线
利用凸轮轴的旋转决定火花塞引燃的时机

轴的旋转决定引燃时机。

之前为了讲解得更通俗易懂一些，我是以只有一组汽缸和活塞的单缸发动机为例进行介绍的。实际上，汽车一般都有 3~4 个气缸，大的发动机甚至有 12 个气缸，并且每个气缸的引燃时机各不相同。因此，为了使各个气缸的火花塞适时引燃混合气体，就需要利用凸轮轴的旋转给火花塞通电。

在配电盘里侧，依环形排列着与气缸数量相同的接点。这些接点利用凸轮轴的旋转给各个气缸的火花塞提供引燃所需的电。

与进排气阀的开闭一样，点火也有适当的时机，且与阀门的开闭时机有关，因此也能利用凸轮轴的旋转。

但是近年来，无需配电盘，使用电脑控制引燃时机的方法成为主流。它通过传感器检测凸轮轴的旋转，由电脑决定火花塞的引燃时机。

2.3.6 不同形状的凸轮

之前我曾经提到过控制进气阀和排气阀开闭的凸轮呈鸡蛋形。但这些“鸡蛋”中也存在着微妙的差异，有的尖一些，有的则近似圆形。

那么为什么要改变凸轮的形状呢？实际上，凸轮所呈现的鸡蛋形状不同，发动机的特性也就不同。例如当发动机使用鸡蛋形状尖一些的凸轮来控制进气阀的开闭时，即使转速很低也能轻而易举地产生驱动力。这是因为发动机尽量充分地吸入了混合气体。

由于发动机转速低时活塞的往复运动就会变慢，因此将混合气体吸入汽缸中的吸力也会减弱，从而导致吸入混合气体的速度减慢。这时最有效的方法是尽量开启进气阀以吸入更多的混合气体，并在活塞降至下止点时瞬间关闭进气阀。

但是，虽说最好尽量长时间地开启阀门，但当活塞开始上升后进气阀仍然处于开启状态时，混合气体就会从进气口逆向流出。这时如果使用的凸轮是尖一些的鸡蛋形状，那么只要尖头转至最高点，就能立刻关闭进气阀。如果凸轮的前端稍圆一些，就只能慢慢关闭进气阀。

这样一来，即使发动机转速很低，活塞的运动速度很慢，只要能将混合气体牢牢封闭在汽缸中，就能使发动机充分发挥其作用。

另一方面，稍圆一些的鸡蛋形状的凸轮更适合转速较高的发动机。发动机转速较高时，活塞的往复运动就会加快，将混合气体吸入汽缸的吸力也会增强，从而加快了吸入混合气体的速度，这就导致流入汽缸中的混合气体的气流无法轻易被中断。即使当活塞降至下止点后开

始上升时，混合气体也会趁势蜂拥进汽缸，无法中断。如果能将更多的混合气体封闭在汽缸中，发动机就会相应地生成更大的驱动力。

因此，为了将更多的混合气体储存在汽缸中，就要在保证混合气体不从进气口逆向流出的情况下，在活塞开始上升后仍然让进气阀暂时处于开启状态。这时就需要用到稍圆一些的鸡蛋形状的凸轮了。

这样看来，根据发动机转速的不同，使用不同形状的凸轮来控制阀门的开闭，效率是最好的。这当然只是理想状态。因为给一个进气阀配备两个凸轮实在很浪费。增加零件就意味着装置更加复杂，花费更高，价格更贵。因此一般情况下，无论转速高低，都只选择其中一种形状的凸轮。

通常会选择适合较低转速的尖一些的凸轮。这是因为平常一般不会让发动机转速过快，即使是在高速公路上行驶，除加速以外发动机的转速都不会很快。

在以后讲到发动机性能的时候，还会涉及低转速发动机和高转速发动机。到时你要是能想到两者的凸轮形状也不同就好啦。

2.3.7 VTEC区别使用两个不同形状的凸轮

有些高效率的发动机搭载了两个不同形状的凸轮，并根据发动机转速的不同分别使用。1989 年，本田将一种日系车厂独创的技术应用于市售车，且至今仍在使用。本田将这一技术称为**可变气门正时与升程装置**，即VTEC（Variable valve Timing and lift Electronic Control system）。

虽然搭载了分别适用于低转速和高转速的两种凸轮，但通常是用低转速凸轮驱动发动机。VTEC 通过传感器检测发动机的转速和驾驶员

的加速情况。当传感器检测到发动机高速运转、驾驶员急加速时，VTEC 就会切换至高转速凸轮，控制进排气阀。

要使这一系统正常运转，还需要用到**摇臂**（图 2.12）。使用一种凸轮时，凸轮直接带动阀门轴转动以控制阀门开闭。VTEC 与此不同，它借助摇臂转动阀门轴，开闭阀门。由于阀门轴很细，无法承受两个凸轮的同时压力，因此，借助摇臂下压阀门轴，通过改变凸轮的形态改变摇臂的移动量，从而控制阀门的开闭。

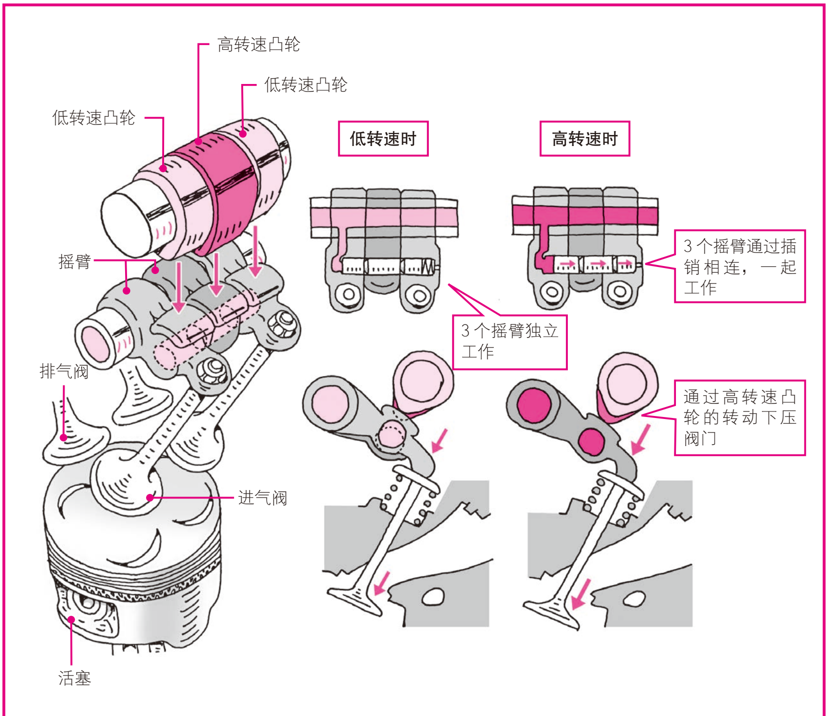


图2.12　搭载两个凸轮的VTEC发动机的结构
在高转速和低转速时区别使用凸轮。高转速时摇臂内部通过插销连成一个整体，将中间的高转速凸轮下压的力传递至阀门。

如图 2.12 所示，每个进气阀配备两个低转速摇臂和一个位于中间的高转速摇臂。低转速时，三个摇臂独立工作。随着凸轮轴的旋转，两个低转速凸轮和一个高转速凸轮同时转动。但即使高转速凸轮的尖头朝下带动中间的摇臂下降，也不会下压阀门。这是因为各摇臂独立运转，高转速凸轮的转动不会传递至阀门。控制进气阀开闭的是低转速凸轮。

驾驶员加速时发动机转速提高，液压迫使摇臂内的插销横向运动串联起三个摇臂，接着三个摇臂开始同时运转。此时中间的高转速凸轮的尖头朝下，连成整体的摇臂同时下压并开启两个进气阀。由于高转速凸轮尖一些，因此进气阀的开启幅度较之前更大（图 2.12 的右）。

因此，在 VTEC 发动机中，是通过控制摇臂内部的插销来切换两种凸轮。但当发动机转速达到几千时，插销会不会很难串联起摇臂？据说此项技术的开发者也曾不太放心，但后来“试了试没什么问题”。作为一项创新技术，它也验证了“百思不如一试”的道理。

VTEC 的开发体现了对发动机技术进步的追求。随后，其他的汽车生产商也开发了类似的装置以提高发动机的效率。

2.4 净化废气，减小噪声

2.4.1 废气的处理

关于发动机的结构，我们已经了解了它吸入并压缩混合气体、用火花塞引燃并使其燃烧膨胀，以及活塞会产生数吨的力等。

下面我将讲解最后的排气冲程。我将解释如何处理混合气体燃烧后遗留在汽缸中的气体残余这一问题。

物体燃烧会产生烟，汽油发动机也同样会在燃烧汽油后留下煤烟。如果不把这些煤烟排出汽缸，就无法开始新一轮的燃烧。我们把煤烟称为**废烟气**（简称**废气**）[①]，把从汽缸中排出废气称为**排气**。

因空气和汽油的混合气体燃烧膨胀，活塞降至下止点，随即开始上升，推动汽缸中的煤烟排出缸外。这时，排气阀处于开启状态。

从排气阀中排出的废气途经整个排气通道（图 2.13）。废气经过汽缸盖上的排气道，沿着发动机外的排气管排放到大气中。排气管上安装了**汽车尾气净化器**和**消音器**。汽车尾气净化器是通过化学反应净化废气中的有害物质，消音器用于减小混合气体燃烧产生的噪声。这样一来，废气就能清洁、安静地从排气管的出口排出了。

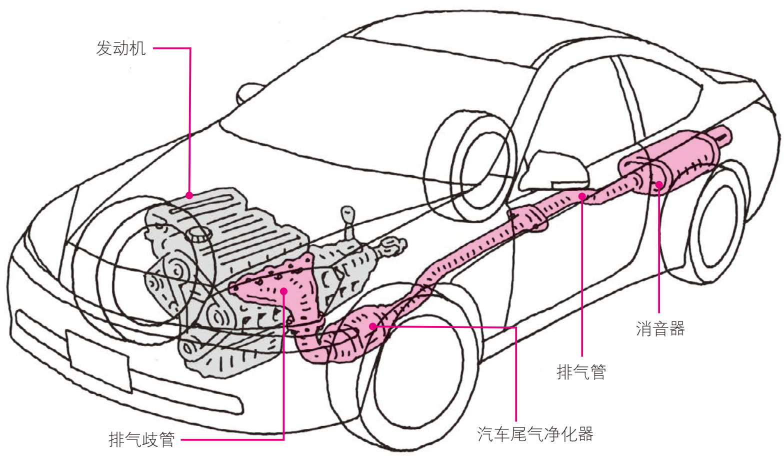


图2.13　始于发动机的排气通道
经由汽车尾气净化器和消音器排出废气

① 我们经常听到的"废气气体"和"废烟气"是一个意思。但是废气的气是指气体，气体也是指气体，因此废气气体这个说法造成了词的重复，是不正确的。

2.4.2 用贵金属净化废气

负责净化发动机排放出废气的是汽车尾气净化器，其内部被分隔为细小的格子，格子表面涂有白金、钯和铑等贵金属。这些贵金属充当了**催化剂**的作用（图 2.14）。

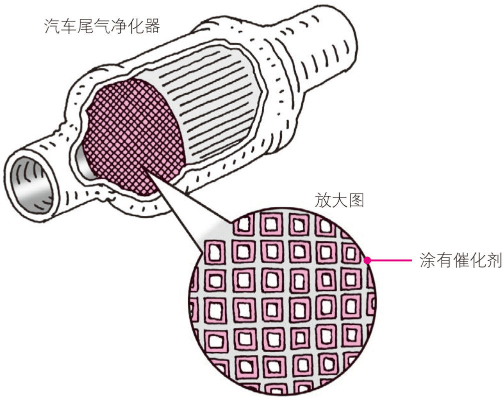


图2.14　汽车尾气净化器的剖面图
废气的通道上涂有催化剂

那么，什么是催化剂呢？其实不用想得那么复杂，只要理解成会对对方产生影响的东西就可以了。这就像在人际圈中，总有一些让人见了就高兴，能影响别人的人。遇见这样的人，我们会觉得自己也变开朗了。对废气而言，贵金属催化剂就具有这种改变气体性质的影响力。

排气量

排气量是表示发动机大小的指标，是指活塞上止点到下止点间的容积，也就等于汽缸所能吸入的混合气体的量。

活塞升至上止点时，仅留有极狭小的空间，我们称其为**燃烧室**。燃烧室的容积和排气量的比，就是**压缩比**。排气量决定进气量，进气量表示被燃烧的混合气体的量，也就标示着发动机所能产生的动力。排气量不仅代表汽缸的容积，还是显示发动机性能好坏的指标，即能够表示发动机能生成多大的动力。通过比较排气量和发动机所产生的马力①，就能了解发动机性能的优劣。

比如，一台排气量为 1000cc 的发动机能够产生 100 马力，我们就说它的性能相当好。但也有排气量为 1000cc 的发动机只能产生 80 或 90 马力。这样的性能差异是由混合气体的燃烧效率决定的，而混合气体的燃烧效率又因压缩比的大小、燃烧室内形状的好坏以及带动进排气阀开闭的凸轮的不同而不同。

1000cc 是 1 升，因此“升 -100 马力”也就成为衡量发动机性能优劣的一个标准。

废气中的氮氧化合物、一氧化碳和烃等有害物质一接触到催化剂，就会促成下列化学反应。

2NOx（氮氧化合物）→ O_2（氧）+N_2（氮）：还原反应

2CO（一氧化碳）+O_2（氧）→ 2CO_2（二氧化碳）：氧化反应

4HC（烃）+5O_2（氧）→ 4CO_2（二氧化碳）+2H_2O（水）：氧化反应

① 在第三章中我会详细介绍马力这一概念。

贵金属

白金即铂，与首饰中所用的铂是同一种。钯可以用于制作银牙，铑可用于白金等首饰的着色和保护。由于都是稀有金属，价格自然就很高。汽车废气的净化就使用了这些贵金属。

使用一种催化剂可以进行还原和氧化两种反应。通过还原反应，氮氧化合物分解为氧和氮，实现了无害化。一氧化碳和烃经过氧化反应生成二氧化碳和水，实现了无害化。实现氮氧化合物、一氧化碳和烃等有害气体的无害化，被称为**三元催化**。

如同人有好恶一样，用作催化剂的贵金属也有好用和不好用之分。白金对一氧化碳（CO）有效，钯对烃有效，而铑对氮氧化合物有效。这些催化剂用于汽车尾气净化器中，依次实现有害气体的无害化。

2.4.3 废气既不能过热也不能过冷

让我们再回到净化废气这一话题。为了使汽车尾气净化器更好地实现废气无害化，需要在一定程度上提高废气温度。由于进行化学反应需要高温，因此废气的温度要达到600℃~800℃。废气在进入汽车尾气净化器时要保持这个温度。

在本章讲引燃的部分，我提到：混合气体在发动机内燃烧时，气体温度会达到几千℃。因此需要先将其冷却至600℃~800℃后才能送入汽车尾气净化器。从几千℃降至600℃~800℃，是发动机将热量转化为曲轴的旋转运动的结果。

按理来讲，发动机的效率越高，废气的温度就会越低。最理想的

发动机效率是可以将废气冷却至与发动机吸入的空气相同的温度。这时我们可以认为发动机将热量全部转化为了曲轴的旋转，即效率为100%。效率越高，油耗当然就越低。

但是，就像之前所说的那样，废气温度过低时，汽车尾气净化器就不能很好地净化废气中的有害物质。因此，常常要用检测氧的氧传感器测定废气中残留的氧浓度，从而推算出废气的温度。如果残留的氧浓度很高，就意味着混合气体中的汽油没有充分燃烧，也就说明废气的温度很低。因此，可以通过电脑减少或增加混合气体中汽油的含量。

请好好思考一下。油耗越低，废气温度也就越低，废气就无法得到充分净化。想要净化废气就要使废气保持高温，但这样一来发动机效率就会降低，油耗也会增加。也就是说，油耗越低，废气的净化程度越低。要实现两者的均衡是相当困难的。

2.4.4 降低油耗的稀薄燃烧

有一种技术不仅能够调节汽油浓度，还能在汽油含量低的情况下实现充分燃烧，并能保持废气温度，使汽车尾气净化器正常工作。它就是**稀薄燃烧**。

所谓稀薄燃烧，不同于之前所说的将汽油和空气均匀混合制成混合气体的方法。它只是在作为点火源的火花塞周围提高汽油浓度使燃烧易于进行，而在其余地方降低汽油浓度，是一种特殊的混合和燃烧方法。我们已经了解到理想的空燃比是14.7∶1，但为了降低油耗，需要做到即使增加空气使空燃比达到40∶1时，混合气体也能燃烧。

然而，空气和汽油均匀混合后混合气体的理想比率仍为14.7∶1，

这一点无法改变。那么如果按照 40∶1 的空燃比均匀混合汽油和空气，通常会因汽油过于稀薄而无法燃烧。因此，稀薄燃烧就致力于只提高火花塞周围的混合气体浓度。

主要有两种方法可以实现这一目标。第一，增加混合气体的旋涡强度。这需要利用电脑模拟分析燃烧，将活塞头部设计成凹陷较为复杂的特殊形状。第二，聚集并引燃火花塞周围汽油浓度较高的混合气体。这就要利用传感器和电脑对混合气体进行仔细管理。此外，直喷中通过直接向汽缸内进行燃料喷射也易于在火花塞附近聚集汽油。

在 2.2.6 节中，我讲到将混合气体均匀混合时会更容易燃烧，因此可以形成旋涡充分混合混合气体。但这是针对空气和汽油混合的理想比率是 14.7∶1 的情况。在这里，混合气体中汽油的含量变低，相反地就能利用旋涡生成一小部分浓度较高的混合气体，汽油和空气的比率在这部分混合气体中达到理想状态。即控制旋涡，将收集到的部分汽油集中到火花塞附近。

考虑到发动机对环境的影响，比起降低油耗，更应该优先净化废气以防止大气污染。因此，随着汽车数量的激增，全世界都在寻求既能降低油耗又能减少导致全球变暖的温室气体——二氧化碳（CO_2）排放量的良策。这样一来，作为降低油耗的技术之一的稀薄燃烧也就应运而生了。

2.4.5 设置消音器迷宫，减小噪声

经过汽车尾气净化器后，废气会进入消音器，在这里，废气的噪声将被减小。

声音与空气密切相关。例如敲鼓时，鼓面的振动带动空气振动，

从而发出声音。声音的本质就是空气振动的能量。刮风时风会发出“呼呼”的咆哮声，且风越大咆哮声越大。这是因为风迅速穿过时会强烈振动空气。

废气流速快，带动空气强烈振动，就会产生音量很大的噪声。这样看来，如果废气高速穿过排气管、引起强烈振动就会产生大音量噪声的话，降低速度就可以减小噪声。

消音器正是利用了这一原理（图 2.15）。消音器的筒状外壳由金属制成，比从发动机导出废气的排气管粗很多。废气从狭窄的排气管突然进入宽大的消音器，速度就会降低。

我先解释一下为什么管道变粗速度就会下降。你可以联想一下吐气。比起缩拢嘴唇呼气，张大嘴吐气时气流的强度是不是就会减弱？相反，气流通过狭窄空间时速度就会加快。例如穿过楼群之间的风强度就很大，而经过宽阔的场所时速度就会减慢。

并且，消音器的内部结构如同迷宫一样。废气被迷宫阻拦，不得不突然改变前进方向，这样一来速度又会减慢。废气在消音器中多次被迫改变前进方向，速度不断下降，强度不断减弱，这样就减轻了振动，减小了噪声。

但是，由于迷宫过于复杂，不断袭来的强势废气就会逐渐堆积，形成阻塞，使得发动机排气不畅。因此，设计出既有适当的迷宫减小噪声，又能保证发动机顺利排出的消音器，就成为消音器设计者们竞争的焦点。

有一种方法是利用具有吸音效果的玻璃棉，既能使废气流动顺畅，又能增强消音效果（图 2.15 下）。顾名思义，玻璃棉就是由玻璃纤维制

成的棉状的材料，具有耐热性。在废气途经的管道上留出小孔，管道周围填充进玻璃棉。就像风穿过树林时树叶会沙沙作响一样，废气经过玻璃棉纤维时速度就会减慢。

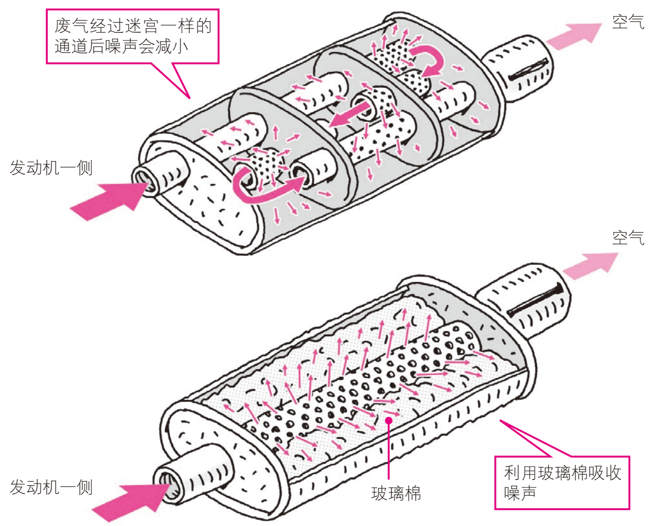


图2.15 消音器的剖面图
上图是将废气通道设计成迷宫的方法，下图是使用具有消音效果的玻璃棉的方法。

但是，很多废气不是从排气管管壁上的小孔渗透到填充有玻璃棉的排气管外的，而是径直穿过排气管，直接排入空气中。因此，比起所有废气都会经过消音器内迷宫的方法，这一方法的消音效果要差一些。但这也是不可避免的。

一方面，有人认为废气的声音很好听。但另一方面，也有人觉得废气排出不畅时发出的声音沉闷刺耳。如果能够消除这种沉闷声，就可以改善废气的音色，即使音量很大听起来也不会那么刺耳。但即便

如此，如果不把音量控制在 96 dB（分贝）以下，就无法通过车检。

调整废气噪声的音量有迷宫和玻璃棉两种方法。**运动消音器**使用价格昂贵的玻璃棉，应用于高价高配的跑车中。高级汽车的噪声能否更小，跑车的声音能否更加悦耳，都要倚仗消音器设计者的本领了。

2.5 改良发动机

2.5.1 使发动机运转更顺畅　改良1：多缸发动机

前面我们已经按照进气、压缩、膨胀和排气的顺序，大体了解了配备一组汽缸和活塞的四冲程发动机的结构。到这里，讲解发动机工作原理的基础部分就结束了。

但是，汽车上的发动机实际上并不是只有一组汽缸和活塞，而通常是几组并列。我们把在基础部分讲解的只有一组汽缸和活塞的发动机称为**单缸发动机**。这里的“缸”就是指汽缸。

汽车发动机多拥有两个以上汽缸，现在即使是小型汽车的发动机也有三四个汽缸。我们把有两个以上汽缸的发动机称为多缸发动机。

摩托车是单缸发动机的实例，那么汽车为什么不使用单缸发动机呢？首先，汽车比摩托车重，需要更大的力。增加汽缸数量就能增大排气量，也就能产生更大的力。除了增大排气量，通过**增压**也可以产生更大的力。所谓增压，是指压缩空气，将更多的空气送入发动机的方法。**涡轮增压器**就是其中一种，接下来我还会详细解释。

其次，增加汽缸的数量还能使汽车行驶得更顺畅。汽缸数量增加，加速就会更快，振动也会减小，感觉会更舒适。

你可以试一下单脚骑自行车。单脚踩踏时，自行车走是走，但总是有些不灵活。如果用双脚交替踩踏，就顺畅多了，而且很容易加速。

同样，汽车有多个汽缸也能顺畅行驶。之前讲过，在汽车的四冲程发动机中，曲轴每旋转两次仅燃烧一次，因此曲轴每旋转两次才会产生一次下压活塞的力。单缸发动机虽然也能驱动汽车，但会像单脚骑自行车一样无法顺畅行驶。如果把汽缸数量增加到两个以上，就能错开燃烧的时间，在汽缸内的两次燃烧之间再加一次，就能使曲轴不间断地旋转。在多缸发动机中，如果旋转过程多次从活塞受力，曲轴就能旋转得更加顺畅。

之前我也提到过，事实上现在的汽车发动机都不再是单汽缸，而是 3 缸、4 缸、5 缸、6 缸、8 缸，甚至是 12 缸。

2.5.2 直列发动机和V型发动机

在多缸发动机中，6 个汽缸以下时多将汽缸排成直列（1 列），6 个汽缸以上时通常将汽缸左右倾斜排列成 V 字型，而 6 缸发动机两种排列方式都适用。汽缸的排列方式会影响汽车的形态。

直列发动机将汽缸排列成一条直线，适用于 6 汽缸以下。6 缸发动机也可以排列成 V 字型，两侧分别并排 3 个汽缸即可，我们称之为**V6 发动机**。在 V6 发动机中，左右汽缸中的活塞都连接在同一根曲轴上（图 2.16）。

左右多个活塞共同驱动一根曲轴旋转。左右各个汽缸之间前后错开，因此 V6 发动机的前后长度很短，大体与直列 4 缸发动机的长度相同。这样看来，将多缸发动机排列成 V 字型可以缩短发动机的全长，但宽度要大于直列发动机。

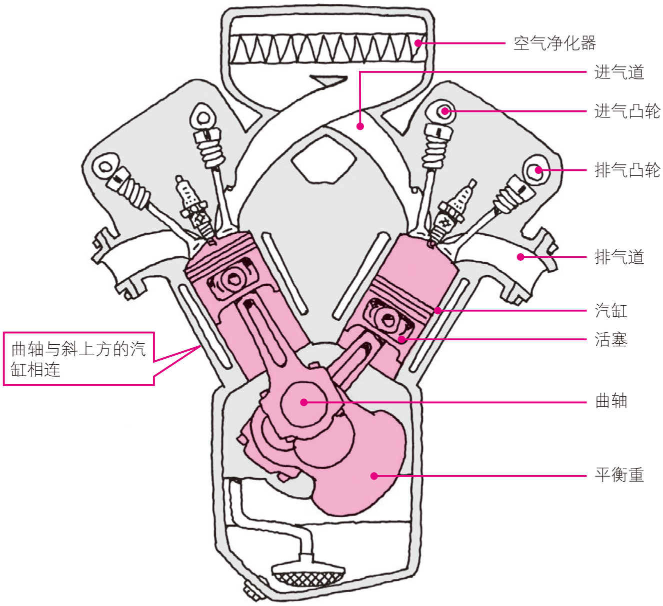


图2.16　V型发动机
中间的曲轴斜着连接汽缸

虽然搭载了多汽缸、大马力的发动机，但V字型的排列方式缩短了发动机的长度，给驾驶室留出了更大的空间。一旦遇到正面撞击，受到冲撞的发动机被迫后退，就能给驾驶室留出空间，阻挡进一步的冲撞。发动机是汽车的动力源，也被誉为汽车的心脏。同时，设计发动机时还要确保驾驶室的空间，考虑到安全因素和汽车整体形态。

那么，为什么也可以选择直列6缸呢？这是因为将6个汽缸排列成一条直线能够更有序地依次传递各个汽缸中活塞的力，以带动曲轴旋转。在6缸发动机中，曲轴每旋转120度就会带动混合气体进行燃烧，从而产生力。

同样，4 缸时是每 180 度、8 缸时是每 90 度就会产生力。也就是说，当每个汽缸的曲轴每偏离 90 度时，就会产生力。这样一来，曲轴就很容易产生上下左右方向的振动。

由于在 6 缸发动机中曲轴每旋转 120 度，即曲轴之间偏离 60 度时才会产生力，因此曲轴的振动就能得到缓和。

也就是说，直列 6 缸发动机的振动极小，因而能够更顺畅地工作。由于其运转顺畅如丝绸，因此也被誉为**丝绸 6**。

V12 发动机两侧分别排列 6 个汽缸，只要将 V 字角度设置为 60 的倍数，即 60 度、120 度或者 180 度，就能产生等同于在直列 6 缸发动机中混合气体燃烧时产生的力，因此也被看作是振动小、平衡好的发动机的代表。

高级汽车通常选择 V12 发动机，不仅排量大、马力大，而且顺畅平稳。

2.5.3 使发动机运转更顺畅　改良2：飞轮

为了使发动机更加顺畅地运转，第 2 项改良措施是在发动机后端加上**飞轮**。无论是单缸发动机还是多缸发动机，都只加一个飞轮。

飞轮又叫**惯性轮**，是由金属制成的较重的圆盘。你或许会问：加上这么重的圆盘，发动机不是反而更难运转了吗?

重物的确很难开始运动，但一旦开始就很难停止。你可以想象一下，想要推动一个很重的球，最初需要很大的力，但重球一旦开始运动后就很难停下。这样看来，重物都有一旦起动就难以停止的特征。

要使发动机后端较重的金属圆盘开始转动，需要很大的力。但一

旦开始转动就无法轻易停止，也就是有了惯性。因此我们把圆盘称为惯性轮，英语里叫它飞轮（flywheel）。

飞轮的旋转能够带动发动机不间断地顺畅运转。

之前介绍过，摩托车多使用单缸发动机。虽然曲轴每旋转两次，发动机才燃烧一次，但这仍能推动飞轮旋转，使摩托车顺利前进。

飞轮的作用不只这个。飞轮的外缘布满了锯齿，当这些锯齿与起动机前端的齿轮相啮合时，才能启动发动机。在前面讲到过“启动发动机前先使曲轴转动”时我略过没讲的，就是转动起动机让曲轴旋转时要经由飞轮（图 2.17）。并且，飞轮后连着离合器。从离合器开始是第 3 章动力传动系要讲解的内容。

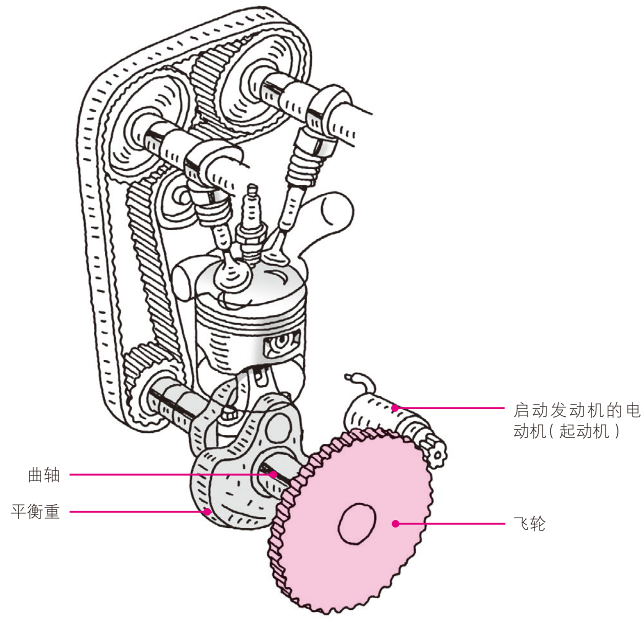


图2.17　连着曲轴的飞轮和起动机

乍一看飞轮又重又麻烦，但它实际上身兼数职，虽默默无闻但非常重要。

2.5.4 使发动机运转更顺畅　改良3：平衡重

为了使发动机运转得更加顺畅所做的第 3 项改良，就是嵌在曲轴上的平衡重。

我们通过之前基础部分的介绍已经知道，在曲轴的凸出部分附有连接活塞和曲轴的连杆。连杆的对面是一个秤锤（图 2.18），它就是平衡重。

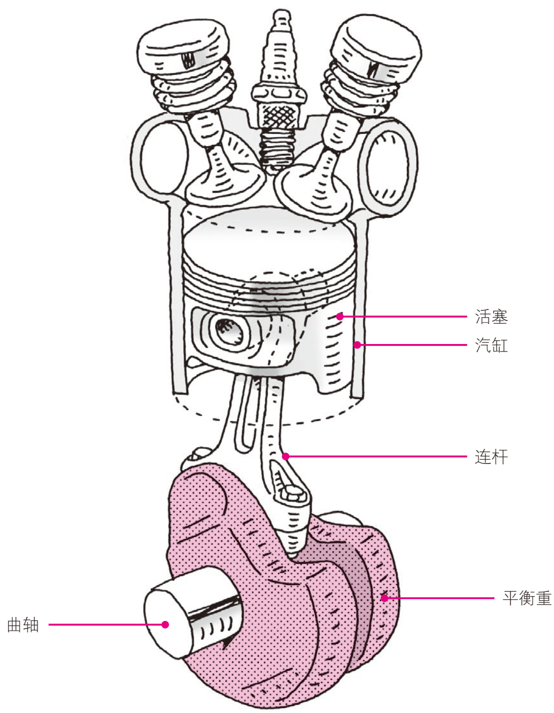


图2.18　连着曲轴的平衡重

平衡重的作用是保证与曲轴上的活塞和连杆之间的平衡。通过保持曲轴的上下平衡，平衡重会上下振动以防止曲轴旋转。

2.5.5 使发动机运转更顺畅　改良4：机油

使发动机运转更顺畅的第 4 项改良是**机油**。日语中所说的机油，相当于**润滑油**。

之前我讲到“活塞在汽缸中往复”时，认为那是理所当然的事，但仔细考虑一下就会发现，如果汽缸和活塞之间的缝隙极其狭窄，就很有可能发生接触，这样一来活塞就无法顺畅地进行往复运动。相反，如果间隙过大，在压缩冲程中混合气体会从汽缸和活塞之间漏出。即使燃烧了混合气体，压力也会从缝隙间逃脱，无法强力下压活塞。

这时，机油就发挥了重要作用。在汽缸和活塞的狭小缝隙间加入机油，就能使活塞往复顺畅。同时，机油填满缝隙既能防止被压缩的混合气体泄漏，也能留住燃烧产生的压力。

由于机油只是跟随活塞的上下运动薄薄地涂抹在汽缸内壁，因此会随着混合气体一起燃烧。在几千摄氏度的高温以及汽油不完全燃烧后残留的煤的影响下，机油会老化或受到污染。因此需要定期更换。

机油虽然很粘稠但毕竟是液体，长期放置会向下滴落，堆积在发动机底部。因此，**油泵**会吸取残留在发动机底部残油贮存盘（**油盘**）里的油，向上送往各个部分。环绕在活塞边缘的**活塞环**会将机油涂抹在汽缸和活塞之间（图 2.19）。

近年来，多在汽缸的内壁添加细小的凹凸，使机油附着其中。原

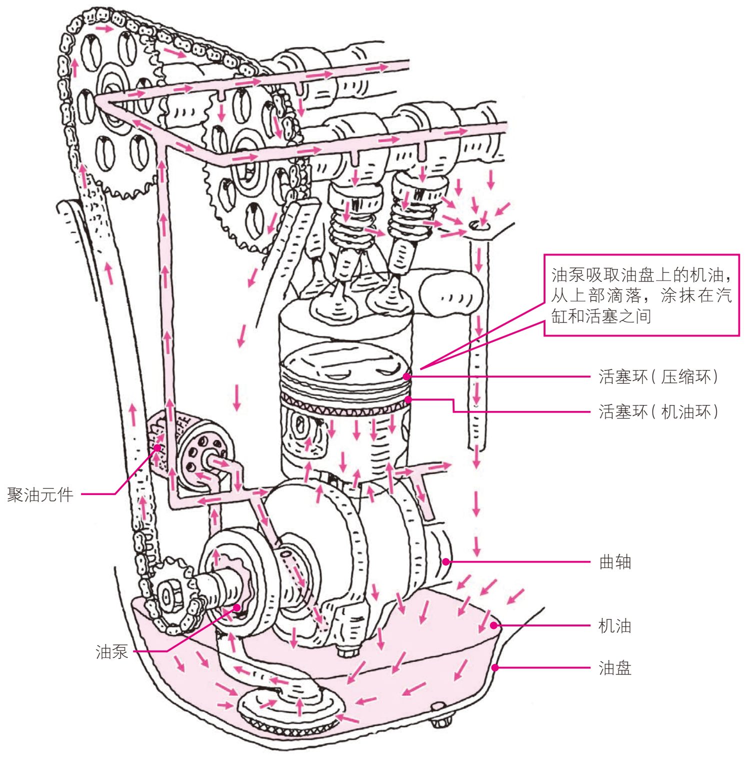


图2.19　通过活塞环将机油涂满汽缸内壁
活塞环涂抹从上部滴落的机油

本就是为了使汽缸上下往复时不产生摩擦才制成平坦的汽缸内壁，即使有了凹凸，也只是细小到可以保证油薄薄地涂在壁面的程度。

由于汽缸和活塞之间总是有机油，因此即使在行驶前不进行一段时间提高发动机温度的**暖机运动**，汽车也能正常行驶。暖机运动最初的目的是通过使机油变热变滑，涂满发动机以防止某一部分缺油。如果不进行暖机运动，就可以减少二氧化碳（CO_2）的排放。仅机油本身

就拥有润滑减磨、密封防漏和抑制二氧化碳排放等功能。

2.6 从怠速到提高发动机转速

2.6.1 调节混合气体流量的油门

在第 2 章中，我们从点火开始，了解了发动机是如何运转的。但是此时汽车仍未发动，还处于怠速状态没有前进。在接下来的第 3 章中，我会讲解发动机的转动传递到轮胎，以及汽车开动时的状态。驾驶员在汽车发动时踩下加速踏板，发动机就开始提高转速了。

在第 2 章的最后，我想讲解一下通过怠速转动起来的发动机在驾驶员踩下加速踏板后是如何提高转速的。

踩下加速踏板后，负责调节发动机汽缸中混合气体吸入量的阀门就开始运作了。这个调节阀就是**油门**。油门位于吸气管中，负责开闭通道（图 2.20）。

发动机依靠燃烧空气和汽油的混合气体实现运转。当增加混合气体的量并增强火力时，混合气体扩展燃烧的势力加强，就会强力下压活塞，加快活塞的运动速度，即发动机转速加快。

当驾驶员踩下加速踏板时，这一动作经铁丝传至油门将其打开。接着，流经吸气管的空气量增加，汽油量也会相应增加。这样一来，发动机汽缸内就能产生很强的火力。

即使驾驶员松开加速踏板，油门也不会完全堵住吸气管，而是留一点缝隙。因为如果完全堵住，空气无法进入发动机，发动机就会停止运转。正是由于油门留出的缝隙，发动机才能继续怠速。

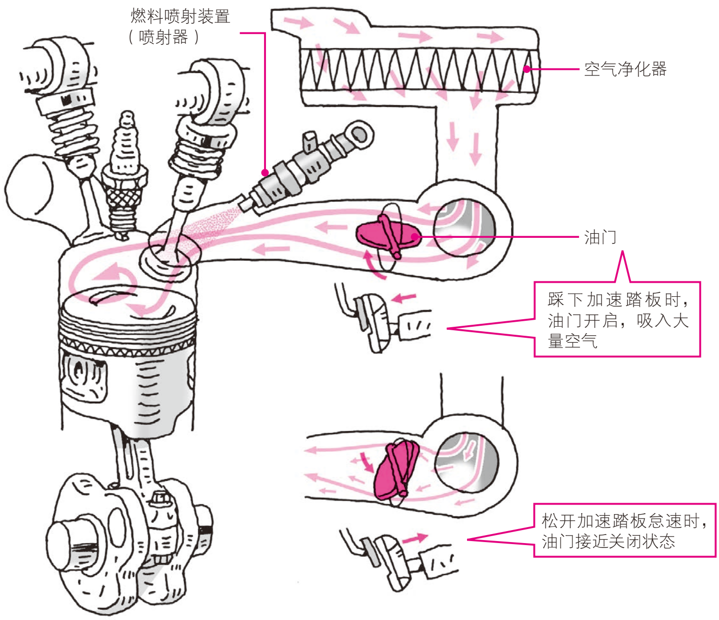


图2.20　吸气管内的油门
踩下加速踏板后，如上图所示油门打开。松开踏板的时候油门也没完全关闭。

2.6.2 用电控制空气量的线控油门

近年来，也出现了用电控制油门的方法，即通过电将加速踏板的活动传递至油门。通过使用传感器监测踏板的位移，感知驾驶员踩下加速踏板的程度大小，将位移量转化为电子信号。随后将电子信号通过电线传递至控制油门的电机，由电机控制油门的开闭。

这种方法名为**线控油门**。这里所说的线，并不是刚才提到的铁丝，而是指电线，即由电线控制的油门，也就是电控油门。使用线控油门，能够很好地兼得油耗低和加速快两方面。

例如在闹市开车，到了十字路口或遇见信号灯时需要不断重复前进和停车的动作，为防止驾驶员踩下加速踏板时油门突然打开，就需要使用电机缓慢开启油门。这样一来，汽车就能顺利开动，避免燃料浪费，也会降低油耗。

在超车等需要加速的时候，驾驶员只需轻踩加速踏板，电机即可大幅开启油门，瞬间提高发动机转速。这在仅用铁丝将加速踏板的活动传递至油门这一方法中是实现不了的。

在线控油门中，各个传感器分别检测踩下加速踏板的程度大小、踩下踏板时右脚的行动速度以及此时汽车的时速，再由电脑进行综合分析，判断汽车是在闹市区行驶还是正在超车。

如今的汽车无论是行驶中的速度，还是加减速的频率，甚至是方向盘的转动程度，都可以通过传感器检测，使用电脑进行管理。正是根据需要在这些信息中做了选择，线控油门才得以正常工作。

近年来，为抑制全球变暖，相继出台了各种法规，消费者的环境意识也在不断加强。这就使汽车面临着降低油耗这一符合现下社会的硬性要求，需要大家为此不懈努力。

2.6.3 没有油门，效率更高

为了降低油耗，汽车生产商们甚至想要拆掉油门。平时开车时，一般无需将油门踩到底，即使在高速公路上也很少如此。只有在需要急加速等极少数情况下，才会考虑是否将油门踩到底。

也就是说，平时开车时，油门的开启程度多处于停车时的怠速状态和急加速时的完全开启状态之间。因此在大多数情况下油门的存在都会阻碍空气的流动。这就催生出了一种新的调节空气量的方法，

即拆掉阻碍空气流动的油门，通过调整进气阀的上下移动程度控制空气量。

怠速时只需吸入少量空气，因此只要稍稍下压进气阀即可。在日常行驶中，也只需将进气阀下压到中间位置。只有在需要急加速时才会将进气阀下压至最低点。阀门的移动程度都由电脑控制。

说到这里你可能会产生疑问。之前我讲过推动进气阀上下运动的是凸轮，如果不像 VTEC 那样改变凸轮的形状，就无法改变进气阀的上下移动程度。

这时就需要加装一个装置将凸轮的旋转以偏离中心的状态传递至进气阀。所谓偏心，是指偏离凸轮的旋转中心。由于普通的凸轮轴无法实现偏心，因此就需要加装一个充当桥梁作用的装置，使得凸轮的旋转不同于一般的鸡蛋形凸轮。我们把这个装置称为**可变阀门升程装置**。

2001 年，德国的 BMW 公司开发出了这一装置，随后其他的汽车生产商纷纷开始使用。

你或许会想，这么好的方法为什么不早点采用呢？无论是之前介绍过的搭载低转速和高转速两种凸轮的 VTEC，还是拆掉油门的方法，在设计者的头脑中都酝酿已久。但是，从精密的电脑控制和传感器技术，到将装置小型轻量化并嵌入发动机内部，再到保证这些装置的耐久性，都必须依靠成熟的技术。甚至可以说，如果成本太高，将无法应用于市售车。

发动机的讲解到此为止。在接下来的第 3 章中，我将介绍把发动机的旋转传递至轮胎的装置。

涡轮增压器

涡轮增压器是**增压器**的一种。在发动机的进气冲程中，活塞下压会产生吸力。所谓增压，就是吸入超过这种吸力的空气。你可以把涡轮增压器看作一种用来增压的增压泵。

涡轮增压器充分利用了发动机排出的废气。废气借助活塞的上升从汽缸中排出，涡轮增压器利用这种能量启动**压缩机**（增压泵），将更多的混合气体强制送入汽缸（图 2.A）。

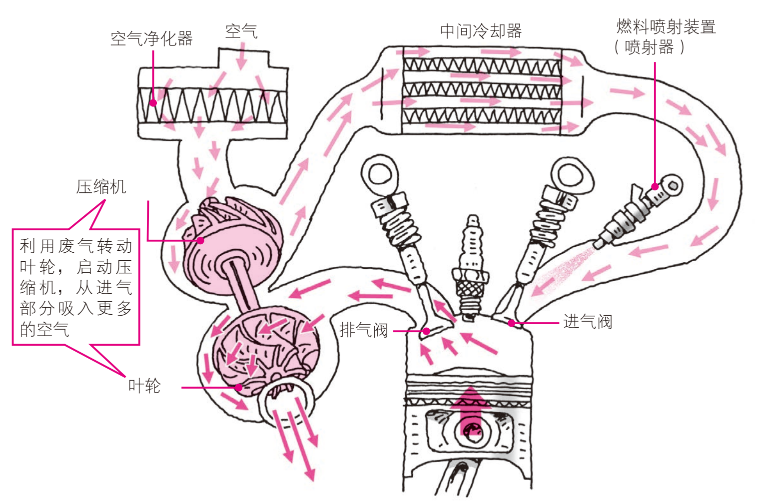


图2.A　涡轮增压器的结构
利用废气启动压缩机，将更多的混合气体吸入汽缸。

虽然发动机的排气量相同，但通过增压增加了空气（混合气体）的吸入量后，排气量也会增加。

这是因为汽缸中的混合气体越多火力越强，下压活塞的力就

越大，发动机产生的扭矩也就越大。

除了增压器之外，还有一种叫做**超级增压器**的增压方式。它利用发动机的力驱动增压泵，通过传动带传递曲轴的旋转，从而启动压缩机。

涡轮增压器充分利用了本应舍弃的废气，超级增压器则利用了本该驱动汽车的一部分力，这是两者的不同之处。涡轮增压器有效利用了能量，可以说是废物利用。

但是由于涡轮增压器是利用发动机排出的废气来启动压缩机的，因此在产生增压效果前有时会有短暂的时间差。

在这方面，超级增压器更占优势。只要发动机在运转，压缩机就可以一直工作。这就意味着在产生增压效果前没有时间差，能在驾驶员踩下加速踏板时迅速做出回应。

虽然两者在提高发动机性能上不相上下，但在节能方面，充分利用废气的涡轮增压器略胜一筹。

Column

汽车辟谣



发动机的效率真的只有 30%？

编辑：我听说发动机的效率不高，是真的吗？

记者：是啊。据说如果按燃烧 1 升汽油产生热量生成的动力计算，汽车的效率至多只有 30%。

编辑：什么？真的有那么低？

记者：你先别惊讶。那还只是就发动机本身来说的，还有人说汽车行驶时的效率只有 20%，甚至是 15%。

编辑：看来是真的了。那全世界的汽车生产商们究竟在干什么啊！效率那么低，剩下的效率去哪儿了呢？

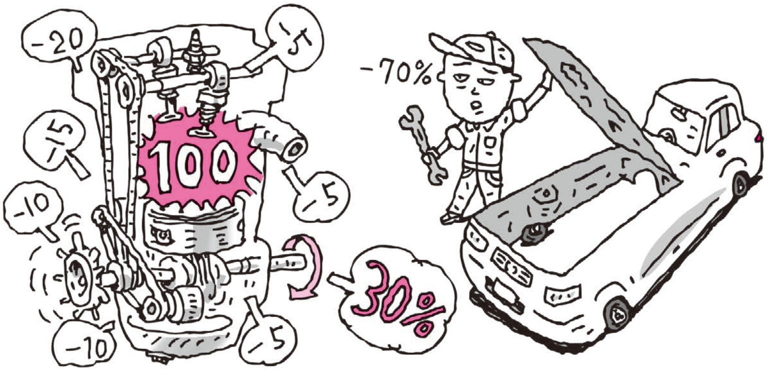
记者：专家们解释说，32% 转化成了废气的热量，28% 用于冷却发动机，剩下的 10% 给了摩擦和辐射热。你见过在寒冬开车时从排气管往外冒热气吧？废气就那么热。也就是说剩余的能量被白白排出去了。散热器负责冷却发动机的冷却液，冷却液热得甚至没法轻易打开盖子，所以它的温度也是不容忽视的。

编辑：那摩擦损失和辐射热又是什么呢？读者是听不懂你这些专业术语的。

记者：我知道，这就给你解释。摩擦损失存在于很多地方。例如带动空调的压缩机、液压助力方向盘的助力泵、用于发电的交流发电机等都需要使用发动机的动力，各机器的摩擦也会损耗动力。再来说辐射热，就是类似于热量从发动机本身的金属部分释放到大气中的放射热。它们都起不到任何驱动汽车的作用。

编辑：原来如此。那有提高效率的方法吗？

记者：有稀薄燃烧。空气和汽油的理想混合比率是 14.7∶1，稀薄燃烧就是指利用小于这个比率的



汽油量启动发动机。还有就是混合动力汽车，启动发动机以外（如空调）的压缩机时不需要借助发动机。再就是把利用发动机动力的液压助力方向盘替换成电动调节方向盘，这一方法也广泛应用在了汽油动力车上。

编辑：那全换成电动的不就好了？

记者：不不，没那么简单。

编辑：别卖关子！快点告诉我结论！

记者：你可真容易生气。电动汽车的蓄电池还是个问题，不如汽油动力车的行驶距离长。

编辑：那电动汽车还处于概念阶段吗？

记者：小型汽车已经有实体产品了，但目前还不能把所有汽车都换成电动的。

编辑：嗯，那该怎么办呢？

记者：说到汽车的效率，不能只考虑发动机等动力源的效率，“从油井到车轮”（Well to Wheel）的意识也很重要。这意味着要综合看待从得到燃料到用完燃料的整个过程。人们期盼着实用且具备高效 Well to Wheel 的汽车快点上市，全世界的汽车生产商也在探索各种汽车的可能性，争相开发利于保护环境的汽车。

编辑：调查得不错。别在这儿浪费时间了，还不快去写报道！

记者：好的好的。

第3章

行驶

——变速器利用齿轮改变力量

热身问答

阅读正文前，让我们先回答下面的问题来热热身吧。

问题

变速器 1 挡的齿轮比约为 4：1。这意味着什么?

1. 将发动机转速减小为原来的 1/4，力量增大至原来的 4 倍
2. 将发动机转速增加为原来的 4 倍，力量减小至原来的 1/4
3. 将发动机转速增加为原来的 4 倍，力量也增大至原来的 4 倍

答案

1. 将发动机转速减小为原来的 1/4，力量增大至原来的 4 倍

解析

变速器又称变速机、变速装置。变速箱内装有多套大小不同的齿轮组，汽车通过切换这些齿轮组来提高速度。

每一个齿轮组的齿轮比不同。如处于上面问题中的 1 挡时，如果把发动机一侧齿轮的直径看作 1，那负责将发动机转动传递至驱动轮一侧的齿轮直径就是它的 4 倍。

在这种情况下，发动机一侧的小齿轮转动四次，大齿轮才转动一次。也就是说，大齿轮的转速很慢，仅为发动机转速的 1/4。

为了加快大齿轮的转速，可以将发动机产生的力增加至原来的 4 倍。这样一来，通过增加发动机的力，就能驱动静止的汽车。汽车的重量一般在一吨左右，大型客车要接近两吨。驱动这些汽车的力都来自于大小不同的齿轮组。

汽车一旦启动，即使很小的力量也能推动其前进。这时就要开始切换大小齿轮组进行加速。我们把这种切换称为变速。

耗费大量的力启动汽车后，需要借助加速器的变速推动汽车以更快的速度行驶。在第 3 章里我将详细讲解这一装置。

本章重点

在第 3 章中，我将依序讲解发动机产生的旋转力是如何驱动汽车的。我们把将发动机的旋转力传递至驱动轮（轮胎）的部分称为动力传动系（驱动系统）。它使发动机的旋转力依次经过离合器、变速器、万向节、差速器和传动轴，从而传递至驱动轮。请想象这样的画面：发动机的力途经像火车车厢一样排成一列的装置传递至驱动轮。

动力传动系的通道上有几个齿轮。齿轮的结构很重要，但如果你觉得它复杂难懂，可以在随后的阅读中把精力集中在如何利用发动机的旋转驱动汽车这一整体流程上。

本章看点

（1）离合器连接发动机和动力传动系

解释使用齿轮的变速器的结构。高速行驶时切换齿轮的结构是一大看点，以及最初切换齿轮时必不可少的离合器。

（2）利用齿轮自由变换发动机的力

齿轮是指在厚厚的圆盘边缘刻有锯齿，通过锯齿间的相互啮合来传递旋转力的零件。利用多组大大小小的齿轮不仅能够驱动汽车，还能使其加速。齿轮是汽车上非常重要的元素。我将解释利用齿轮进行加减速的装置。

（3）从变速器到差速器

发动机的旋转力经由变速器，到达驱动轮附近的差速器。差速器在实现三个功能的同时，还负责推动驱动轮旋转，以驱动汽车。

（4）自动变速方式 1：变矩器式

与之前所说的手动变速器不同，自动变速器可以自动切换齿轮。为了顺利进行切换，需要经过复杂的工序。在自动变换的多种形式中我将首先介绍变矩器式。

（5）自动变速方式 2：自动离合器式

详细讲解自动变速方式中以手动变速器为基础的自动离合器式。

（6）自动变速方式 3：CVT

CVT 在变速中没有级差，因此可以使汽车平稳地加速。也能够根据实际路况进行变速，降低了油耗。在这一部分我会详细介绍 CVT 的结构。

3.1 离合器连接发动机和变速器

3.1.1 将发动机旋转传递至轮胎的动力传动系

在第 2 章中我们讲到了发动机启动，曲轴开始旋转。接下来我将解释曲轴的旋转是如何传递至驱动轮的。

驱动力只在接收发动机旋转力的轮胎上起作用。并且根据发动机旋转力所到达的轮胎的不同，驱动也分为几种不同的方式。为了让你在本书中学到一些基础知识，我就以将旋转力传递至后轮生成驱动力的**前置后驱车**（FR）为例进行讲解。

当发动机启动后仍然处于怠速状态时，汽车是静止的。如果是搭载**手动变速器**的汽车，下一步驾驶员就要踩下离合器踏板，拨动变速杆，从空挡变换到 1 挡。如果汽车搭载的是自动变速器，只要踩下刹车踏板，拨动变速杆，就可以从停车挡（P）变换到前进挡（D）。

这样一来，汽车就做好了发动的准备。接下来我将依序讲解怎样换至 1 挡或者前进挡。先讲手动挡汽车，再讲自动挡汽车。

在此之前，我想先介绍一下本章要讲的动力传动系。**动力传动系**是一个连接发动机和驱动轮的装置组，具体来说，是从发动机开始，经由发动机后端的飞轮连接至驱动轮的部分。如第 2 章的图 2.17 所示，飞轮是一个由金属制成的圆盘，它的另一端是**离合器**。在离合器之后是连成一排的动力传递通道，也就是动力传动系，依次是**变速器**、**万向节**、**差速器**和**传动轴**（图 3.1）。在之后的讲解中，动力传动系中的各个装置会依次出现，请务必记住它们各自的位置。

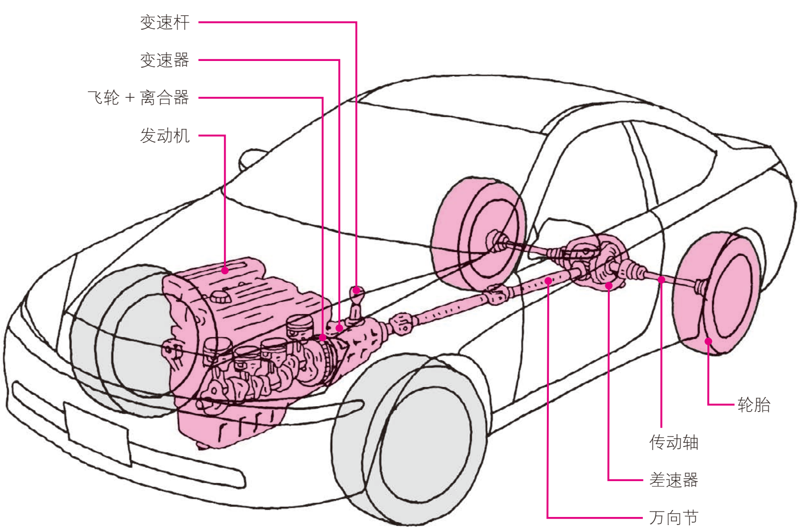


图3.1　汽车的动力传动系

3.1.2 利用离合器接合或分离变速器

再回到驾驶上来。当驾驶员踩下离合器踏板时，发动机的旋转就不会传递到变速器。松开踏板时，就可以将发动机的旋转传递至变速器。这样看来，离合器就是决定是否将发动机的旋转传递至变速器的装置。接下来我将介绍离合器的结构，以及为什么需要离合器。

离合器是用**膜片弹簧**将**摩擦片**压在飞轮上的装置（图 3.2）。摩擦片形似面包圈，呈圆形，被膜片弹簧压接在飞轮的边缘。

虽说膜片弹簧也是弹簧，但与常见的旋涡状的螺旋弹簧不同，是一种具有弯曲形状的金属薄板，在凹陷或凸出时会产生弹力。离合器

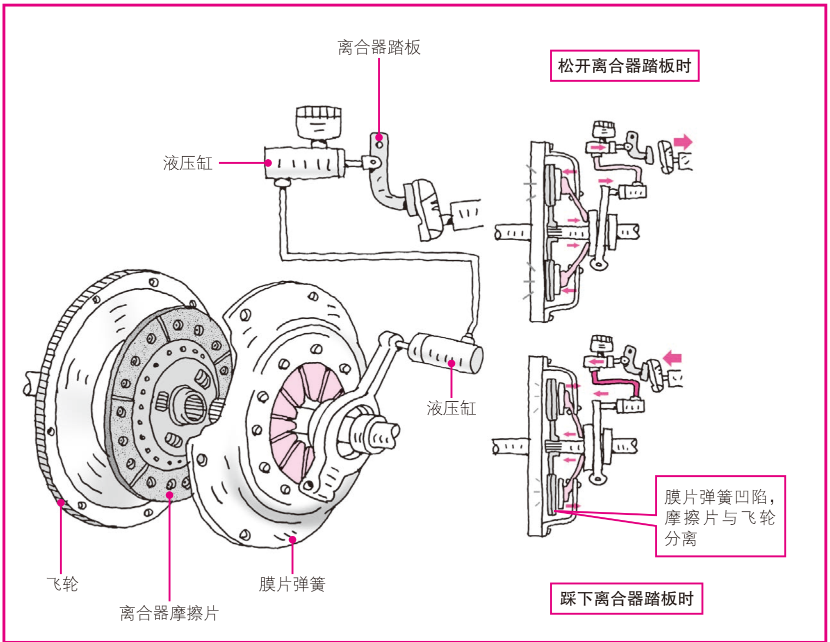


图3.2　离合器的结构
用膜片弹簧将摩擦片压在飞轮上。踩下离合器踏板时，摩擦片分离，无法传递动力。

正是利用了膜片弹簧的这种弹力。当离合器的摩擦片压紧飞轮时，可以将发动机的旋转力传递到后面的动力传动系。而当离合器的摩擦片与飞轮分离时，就无法传递发动机的旋转力。

当驾驶员踩下离合器踏板时，电线将这一动作传递至离合器的膜片弹簧，缓和了摩擦片对于飞轮的压紧力。接着，摩擦片与飞轮分离，切断了发动机输出的动力，也就无法将其传递至后面的动力传动系。

当驾驶员松开离合器踏板时，摩擦片借助膜片弹簧的力量再次压紧飞轮，发动机的旋转传递至动力传动系，此时离合器与飞轮的转速相同。这样一来，发动机的旋转就能传递至变速器了。

那么为什么要用离合器切断或传递发动机的旋转力呢？这是因为利用变速器进行齿轮变速时需要切断发动机旋转力的传递。关于需要切断旋转力传递的原因，我还会在之后讲解变速器时详细说明。

3.2 利用齿轮实现发动机的自由变速

3.2.1 利用齿轮的减速增大发动机的旋转力

发动机的旋转经由离合器传递至变速器。**变速器**是增大发动机的旋转力或者加快发动机转速的变换装置。我们把减慢转速、增大旋转力称为**减速**；相反，把加快转速称为**加速**。减速和加速合称为**变速**。

观察变速器的内部可以发现，里面密密麻麻地排列着好几组齿轮，每组都由一个小齿轮和一个大齿轮组成（图 3.3）。通过切换这些齿轮组，就能加快发动机转速，从而使汽车加速。

如果没有变速器的齿轮组，即使发动机的旋转驱动了汽车，汽车也很难在慢速和快速之间自由变换。

驾驶时将变速杆拨动到 1 挡，是为了在变速器的齿轮组中选择能够产生强劲动力的组合。这是因为驱动静止的车需要很大的力量。

当驾驶员拨动变速杆时，**变速连杆**会前后移动，且**拨叉**也会带动**牙嵌式离合器**移动，使得 1 挡的齿轮组与输出轴相连（图 3.3 中的 1 挡）。接着，左边的发动机一侧输出的旋转力会首先到达下一级齿轮，经由 1 挡齿轮组，再回到上一级传递至驱动轮。这样一来，汽车就发动了。

在变速器内，发动机旋转力的传递之所以会途经下一级，是因为从发动机引出的输入轴和引入轮胎的输出轴高度相同，当两个齿轮啮

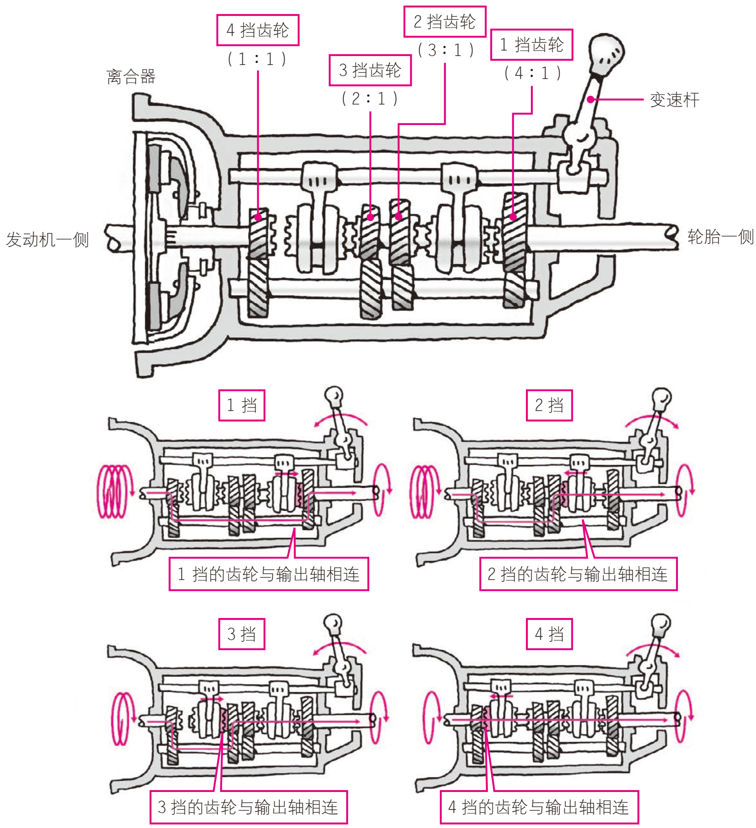


图3.3　变速器的结构
从四组齿轮组中选择一组与轮胎一侧的输出轴相连

合时，如果不先把旋转力传递至下一级，变速后输出轴的高度就会降低。不将两个轴错开放置是因为这样能把发动机和动力传动系整体设置在车身中较低的位置上。4 挡时，4 挡齿轮与输出轴连成了一条直线，可以直接将旋转力传递至驱动轮，不需要经过下一级齿轮。

与 1 挡同理，2 挡时通过连接 2 挡齿轮和输出轴、3 挡时通过连接

3 挡和输出轴，实现齿轮的切换。

3.2.2 变速器的齿轮将旋转力变至原来的4倍

为什么需要这种大小齿轮的组合呢？这是因为汽车有时需要输出动力或者输出速度，而使用大小齿轮的组合能够实现这两个目标。

车型不同，重量就不同。我们平时驾驶的小型汽车重量多在 1 吨以上，微型车也有 800kg~900kg，一个人是无法推动的。

而小型汽车的**发动机功率**约为 100 马力，**发动机扭矩**约为 15kg•m。15kg•m 的扭矩相当于举起离自己 1m 远、重 15kg 的物品所需的力。以这样的扭矩驱动 1 吨重的汽车，很不可思议吧。

发动机产生的力实际上是很小的。但是如果想增大发动机的力，就需要排气量大且又大又重的发动机。这样一来，人们的乘坐空间就会变窄，汽车也会越来越重。因此，为了使小发动机也能产生强劲动力，推动汽车平稳迅捷地加速，就要充分利用变速器的齿轮组。

我们假设变速器中大小齿轮组的直径比分别为 4：1、3：1、2：1 和 1：1。1 挡为 4：1，2 挡为 3：1，依此类推。实际上，直径比大都精确到小数点以后，我们为了方便讲解，暂且按照上述的直径比这样假设。1 挡时使用 4：1 的齿轮，就能将发动机扭矩扩大为原来的 4 倍传递至轮胎。也就是说，假设发动机扭矩为 15kg•m，就能将 60kg•m 的力传递到轮胎。

在变速器后面有一个**差速器**（差速装置），也是利用大小齿轮的组合增大发动机扭矩的（之后还会讲到），其比率约为 4：1。因此，通过变速器的 1 挡齿轮增大到 60kg•m 的发动机，扭矩会再增加至

240kg•m，传递至驱动轮。也就相当于举起离自己 1m 远、重 240kg 的重物时需要的力。这样一来，小型汽车就能够发动了。

你可能会觉得相对于重达 1 吨的车，240kg•m 的力有些小。但是汽车发动时并不需要举起汽车，只要驱动轮胎就可以了。因此这些力就足够了。

发动机扭矩和发动机功率

扭矩和功率都是表示发动机性能的词，你听说过吗？这里我就解释一下扭矩和功率。

扭矩表示力的大小，以前用 kg・m（千克・米）作为单位，现在多用 N・m（牛顿・米）。相比之下，kg・m（千克・米）更容易解释扭矩。用 kg・m（千克・米）作为单位，可以将扭矩表达为“举起离自己 1 米远的重多少千克的物品时需要的力”。

N・m 和 kg・m 之间的换算很简单，两者有如下关系：

$$1\text{kg}\cdot\text{m}=9.8\text{N}\cdot\text{m}$$

也就是说，可以把 N・m 看做 kg・m 的约 10 倍。这样一来，即使汽车性能表中发动机那一项使用的单位是 N・m，你也不会弄混啦。

而功率（输出功率）的单位是马力（PS）。最近，由于表示方法也在趋向国际化，所以多用表示电力的 kW（千瓦）来表示功率。但因为马力与发动机的关系更密切，因此我还是想用马力来解释功率。

所谓**马力**，是用来表示一匹运货马在一定时间内所能搬运

的货物重量，即一匹运货马所做的功，而不是指一匹马力量的大小。发明了蒸汽机的英国人詹姆斯·瓦特为了表示蒸汽机的效率提出了这一表示方式，是以当时的主要动力——马为基准的。

他将一匹运货马在 1 秒钟内把重达 550 磅（约 250kg）的重物拉动 1 英尺（约 30cm）所做的功定为 1 马力（HP，Horse Power）。在英国使用的磅或码在国际单位制中可以换算成 1.01PS，在国际单位制中表示马力的 PS 是取德语中 Pferde Starke（马的力）的首字母。国际单位制诞生于法国，因此也被称为法国马力。

目前作为主流的 kW 与马力有如下的关系：

$$1PS=0.735kW$$

比起 PS，用 kW 表示时数值要小一些。

总之，扭矩指的是力本身，而功率是指做功量。扭矩表示爆发力的大小，因此简单来说是由排气量的大小决定的。功率表示做功量，因此它与汽车能够行驶得多快多远（即速度）有关。即使是排气量小、扭矩小的发动机，只要能提高转速，也能够增大功率。

扭矩的大小反映出汽车能否运载大量的人和货物，功率的大小反映出汽车能否行驶得又快又远。因此，扭矩和功率就成为衡量汽车性能的重要标准。

3.2.3 变换齿轮组，完成加速

汽车能以 1 挡起步，但大家都知道，1 挡时即使将发动机转速提到最高，汽车的时速也只能达到 20km~30km。此时发动机轰鸣，喧闹不堪，你却手足无措。你肯定会想，能不能既安静又舒适地提高汽车速度呢？这就需要把齿轮切换至 2 挡或 3 挡了。

切换齿轮，就是切换变速器中的齿轮组合，也就是改变齿轮的直径比，即 1 挡使用 4：1 的齿轮组，2 挡用 3：1，3 挡用 2：1，4 挡用 1：1（图 3.4）。4 挡使用 1：1 的齿轮组时，发动机的旋转力就能原原本本地传递到驱动轮。

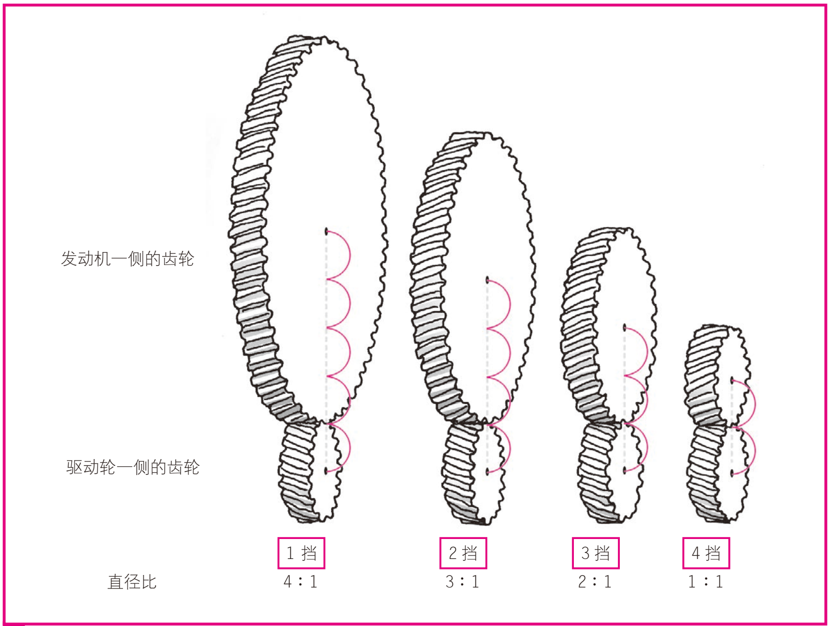


图3.4　1挡~4挡使用的齿轮组一览

刚才我讲过，1 挡时发动机的扭矩增大到原来的 4 倍。这其实是利用了齿轮的大小比率。

如图 3.4 所示，1 挡时虽然增大了力，但转速降至原来的 1/4。这是因为旋转力从小齿轮传递至大齿轮时，小齿轮旋转一次大齿轮才旋转 1/4 次。因此，1 挡时虽然提高了发动机一侧齿轮的转速，但传递到轮胎的转速并没增加多少，所以时速才只有 20km~30km。

为了提高速度，就需要提高在驱动轮一侧传递旋转力的齿轮的转速。如果将齿轮的直径比变为 3∶1 或 2∶1，使小齿轮的转速逐渐接近大齿轮，就能提高驱动轮的转速从而给汽车提速。如图 3.4 所示，当 4 挡时齿轮的直径比为 1∶1，两侧的旋转力和转速就相同了。变速器就是这样切换大小齿轮组的。

读到这里，你可能会有疑问：发动重达 1 吨的汽车需要很大的力，那发动后就没必要增大发动机的力了吗？

我在第 2 章讲到发动机的飞轮时讲过一个物理原理，即重物的确很难开始运动，但一旦开始就很难停止。这就是物体的惯性力。比如骑自行车时，自行车起动后只需很小的力就能继续前进。甚至即使不用力踩脚踏板，它也能暂时保持速度不变。汽车也是如此。虽然从静止到发动需要很大的力，但一旦发动，就不需要那么大的力了。因此，汽车一旦发动，相对于力的大小，更加关注的是速度的快慢，力图通过缩小大小齿轮的直径比完成加速。

3.2.4 在所有齿轮啮合时切换齿轮

既然大家都已经了解了变速器内齿轮的作用，那么下面我就来讲一下变速器内齿轮的组合方式。

之前我讲过，汽车的变速器内排列了多组直径比不同的大小齿轮组。请再返回去看一下图 3.3。

如图 3.3 所示，从右侧开始并排放置了直径比分别为 4∶1、3∶1、2∶1 和 1∶1 的 4 组齿轮组。这就是 4 挡变速器。

汽车的**齿轮切换**，是指驾驶员根据汽车的行驶速度选择适当的齿轮组。虽说叫齿轮变换，但并不是每次都要改变齿轮的组合，而是事先准备好成套的齿轮，因此我们称之为**常啮合式变速器**。

那么，当 4 个挡位的齿轮组合全部啮合时，该怎样进行齿轮切换呢?

进行齿轮切换时，要先将变速杆拨动至空挡状态，这时所有齿轮组合都不与将旋转力传递至轮胎的输出轴相连，各个齿轮都处于空转状态。当驾驶员把变速杆拨动至 1 挡时，1 挡的齿轮组合借助**牙嵌式离合器**与输出轴啮合相连。牙嵌式离合器虽然也叫离合器，但它不同于我在讲解将发动机的旋转力传递至变速器时所说的离合器。

牙嵌式离合器是指两个齿轮通过像犬牙一样的啮合来相互接合的传递装置（图 3.5）。1 挡时，齿轮一侧（发动机一侧）的牙嵌式离合器与将旋转力传递至驱动轮的输出轴一侧的牙嵌式离合器相啮合。这样一来，1 挡齿轮与输出轴相连，就将发动机的旋转力传递到了驱动轮。

每一套齿轮组合都有一个牙嵌式离合器。1 挡时其他齿轮组合的牙嵌式离合器都不啮合，因此均处于空转状态。

驾驶员前后左右拨动变速杆，使得牙嵌式离合器啮合或者分离。由于驾驶员是以 H 形拨动变速挡，所以我们通常把变速杆的拨动方式称为**H 型换挡模式**。

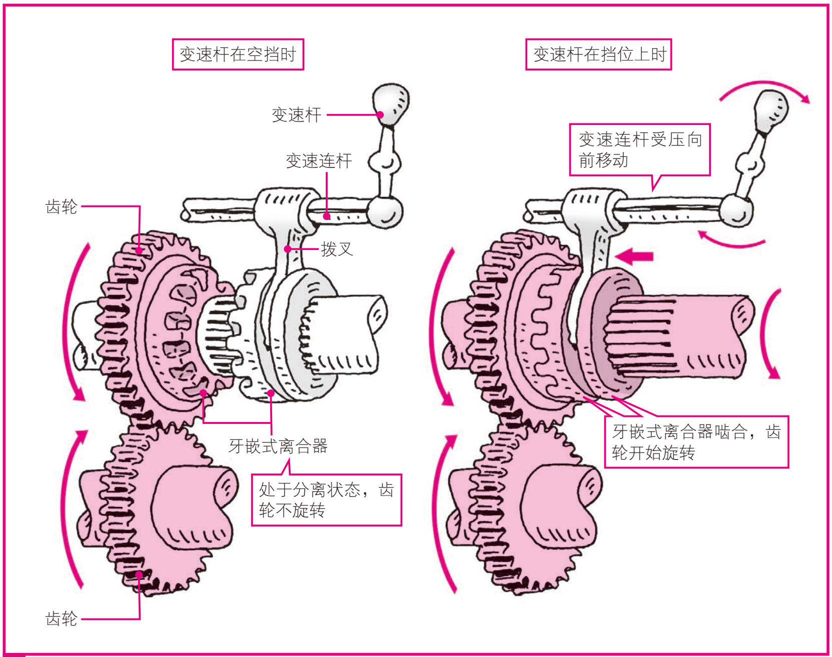


图3.5　牙嵌式离合器的结构
像犬牙一样相互啮合的传递装置。驾驶员拨动变速杆时，与所选齿轮的牙嵌式离合器啮合。

例如，从空挡向左前方拨动变速杆就是 1 挡，再向左后方拨动就是 2 挡。接着向右前方就是 3 挡，右下方就是 4 挡。

将变速杆拨动至 H 形的各个位置时，就会带动连接在变速连杆前面的**拨叉**。随后选择与齿轮组合相对应的牙嵌式离合器，连接至与驱动轮相连的输出轴。

事先设置好齿轮的组合，通过牙嵌式离合器的啮合或分离进行齿轮切换，这样就无需每操作一次让齿轮啮合一次了。

3.2.5 行驶中无法实现齿轮的啮合

可以想象一下，如果没有常啮合式的变速器会怎样？作为精密零件，齿轮上锯齿间的缝隙很小，因此即使在静止状态下，都很难将一个齿轮的锯齿啮合在另一个齿轮的两个锯齿之间。静止状态下都这么难，就更不用说在旋转时让齿轮啮合了。

即使在怠速状态下，发动机的转速都可以达到每分钟 500~600 次。在汽车发动后加速的过程中切换齿轮时，发动机的转速甚至可以达到怠速时的 10 倍，约为每分钟 5000~6000 次。

我之前讲过，切换齿轮时要先回到空挡状态。空挡时发动机的旋转力不会传递至变速器，但由于惯性，变速器的齿轮还会继续旋转。在转速高达每秒钟几百甚至几千的状态下，要让两个齿轮上锯齿间的缝隙实现啮合，与其说很难，不如说是不可能的。如果强制啮合齿轮，有可能会损坏齿轮上的锯齿。齿轮上的锯齿非常纤细精巧，如果损坏程度过大，汽车就无法行驶了。

因此常啮合式变速器应运而生了。它备有几组大小不同的齿轮组合，可以根据需要进行切换。当然了，即使是牙嵌式离合器，在高速旋转中进行啮合时也可能造成其锯齿的损坏。但牙嵌式离合器的啮合部分是单纯的凹凸形状，且所有的凹凸都是同时啮合，这就降低了锯齿损坏的风险，不会导致汽车无法行驶。

对于汽车来说，单单保证高性能是不够的，还要增强耐久性以确保几万公里的行驶，同时要致力于降低其维修保养费。

3.2.6 利用同步啮合装置实现精准啮合

接下来我想讲解一下离合器的作用和同步啮合装置。这里所说的离合器，不是变速器内部的牙嵌式离合器，而是连接在发动机后端、利用飞轮和摩擦片的关系，负责切断或传递发动机旋转力的装置。就像我之前讲的一样，利用离合器回到空挡状态时，发动机的旋转力就暂时无法传递到变速器了。驾驶员踩下离合器踏板使发动机暂时停止向变速器传递旋转力后，就要拨动切换齿轮的变速杆切换齿轮组合了。

通过离合器使变速器内的齿轮处于空转状态后，就可以利用牙嵌式离合器进行齿轮切换了。但是即使是在空转状态，也很难啮合旋转中的牙嵌式离合器。

因此**同步啮合装置**诞生了。同步啮合装置通过实现牙嵌式离合器的转速同步，使其能够更轻易地相互啮合（图 3.6）。它拥有形似冰激凌蛋卷、有斜面的圆环形的**同步器**，负责平稳实现齿轮一侧和输出轴一侧牙嵌式离合器间的转速同步。通过圆锥形斜面的慢慢接触，实现相互间转速的同步。

同步是同步化（synchronize）的略语。就像在花样游泳中（synchronized swimming）几个人和着音乐游泳一样，同步啮合装置实现了齿轮切换时齿轮与输出轴转速的同步。利用倾斜的圆锥形锁环实现同步，使得牙嵌式离合器平稳啮合。

此时如果踩下离合器踏板，即处于空转状态。即使齿轮和输出轴在旋转，也无法传递动力，因此此时可以互相调整转速。这样看来，常啮合式结构、牙嵌式离合器和同步啮合装置都是服务于齿轮组合的。

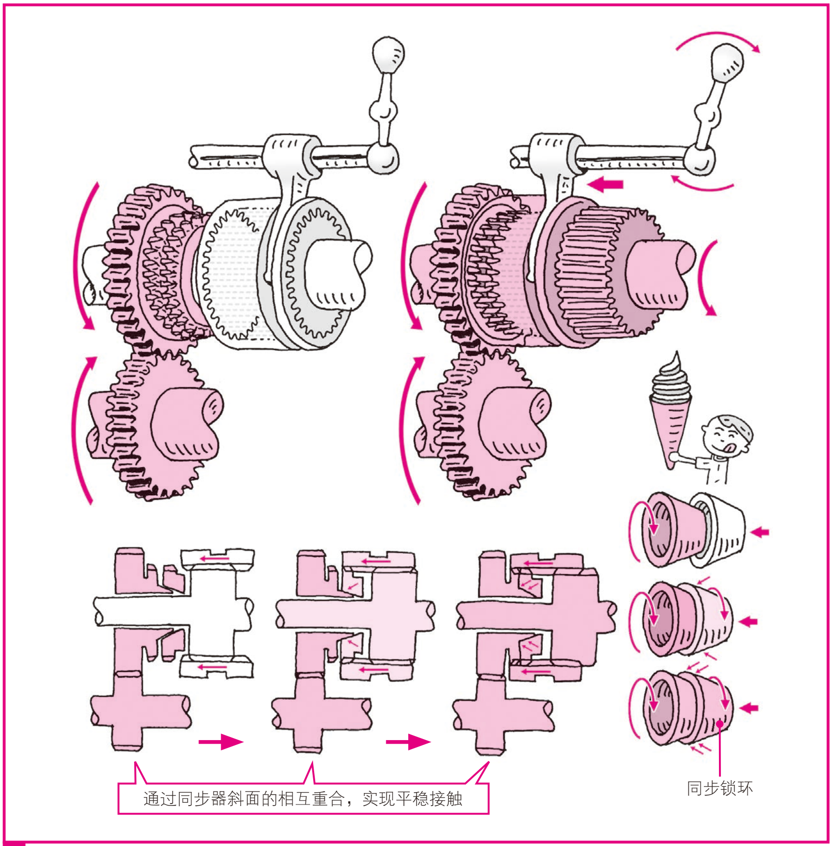


图3.6 同步啮合装置的结构
通过实现牙嵌式离合器的转速同步，使其更轻易地相互啮合。如图所示，它有坡度，也就能平稳地实现同步。

3.3 从变速器到差速器

3.3.1 将发动机的旋转力传递至万向节

利用变速器的齿轮增加了发动机的旋转力之后，旋转力经由**万向**

节传递至差速器，差速器再将发动机的旋转力分配给左右驱动轮（轮胎）。

万向节负责将发动机的旋转力从变速器传递到差速器。如图 3.1 所示，变速器位于车身前端的发动机一侧，前置后驱车（FR）的差速器位于车身后端。用于连接前端变速器和后端差速器的就是万向节。

万向节是直径 10cm 左右，是中空的钢管，质量轻且结实。你可以联想一下竹子。竹子是中空的，但比起树枝既轻又很难折断，与万向节类似。

万向节上有接点，是将一段一段的铁管连接在一起使用的。如果使用一根长管连接变速器和差速器，就容易因旋转力产生振动，因此万向节上设置了接点以防止这一现象的发生。挥舞手里的长棍时，长棍往往会左右晃动，而短棍则很难左右晃动。同样，把短管连接在一起就可以防止振动，平稳地将旋转力从加速器传递至差速器。

然而，跑车等使用的万向节不是由钢、而是由碳纤维制成的。碳纤维既强韧又比钢管轻，制成的万向节甚至可以单手举起。碳纤维还常用于制作高尔夫球棒和鱼竿，我想很多人都体验过它的轻巧和强韧。万向节越轻巧，就越能平稳地传递高速的旋转，也容易降低油耗。

3.3.2 将旋转力从差速器传递到左右车轮

发动机的旋转力通过万向节传递至差速器。包括把旋转力传递到左右车轮在内，差速器共有三个作用。

第一个是已经介绍过的把旋转力传递至左右车轮。第二个是再次增加由变速器增加过的发动机旋转力。第三个是转向时改变左右车轮

的转速。接下来我们就详细了解一下这三个作用。

差速器的内部纵横排列着圆锥形的齿轮（图 3.7），我们把这些圆锥形的齿轮称为**伞齿轮**。发动机的旋转力依照发动机→离合器→变速器→万向节→差速器的顺序被传递到汽车的前后方向，通过纵横排列圆锥形的伞齿轮，差速器就能改变传来的旋转力的方向并将其传递到左右车轮。

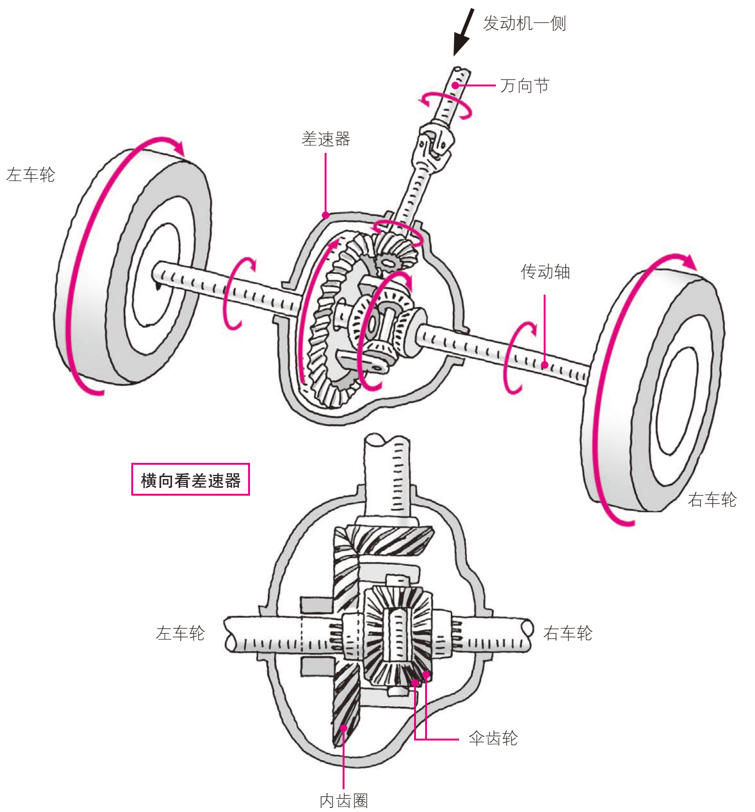


图3.7　差速器的结构
组合圆锥形的伞齿轮，改变旋转力的传递方向。

万向节的旋转带动差速器入口处的圆锥形小齿轮——伞齿轮转动，由此带动大齿轮内齿圈的转动。旋转力传递到内齿圈后，就会通过两个伞齿轮再传递至与车轮相连的传动轴。这样一来，发动机的旋转力就转化成了驱动后轮的横向的旋转力。由此，差速器就通过使用不同形状的齿轮将发动机的旋转力转化为了驱动轮的旋转力。

3.3.3 差速器也能降低速度，增大动力

差速器的第二个作用是再次增加由变速器增加过的发动机旋转力。从万向节传来发动机的旋转力，首先传递到大齿轮内齿圈的意义就在于此。

借助小齿轮伞齿轮和大齿轮内齿圈的组合，从万向节传递至差速器的发动机旋转力在此再次增大。内齿圈和伞齿轮的直径比约为 4：1。也就是说，即使变速器的齿轮组合的直径比为 1：1（如 4 挡时），差速器也能以 4：1 的比率增大旋转力。

我们把借助差速器实现的减速的比率称为**最终减速比**，意味着在动力传动系的末尾再进行一次减速。

例如汽车利用变速器的 1 挡齿轮发动时，使用的是 4：1 的齿轮组合。这时如果再加上差速器的 4：1，发动机产生的力经过变速器后就变为原来的 4 倍，再经过差速器入口时又变为刚才的 4 倍。这样一来，最初的发动机旋转力传递到后轮时就变为了原来的 16 倍。

之所以不在一开始就利用变速器将发动机旋转力增加到原来的 16 倍，是因为如果把齿轮组合的直径比设定为 16：1 的话，大齿轮就太大了。并且，即使是用高速齿轮行驶，也需要通过增大动力协助差速器减速。

3.3.4 利用差速器调整内侧和外侧的距离差

差速器的第三个作用是协助汽车转向。想象一下汽车转向时的情况，内侧车轮和外侧车轮的行驶轨迹是不一样的。内侧转小弯，外侧转大弯，也就是说，转向时内侧和外侧行驶的距离不同（图 3.8）。

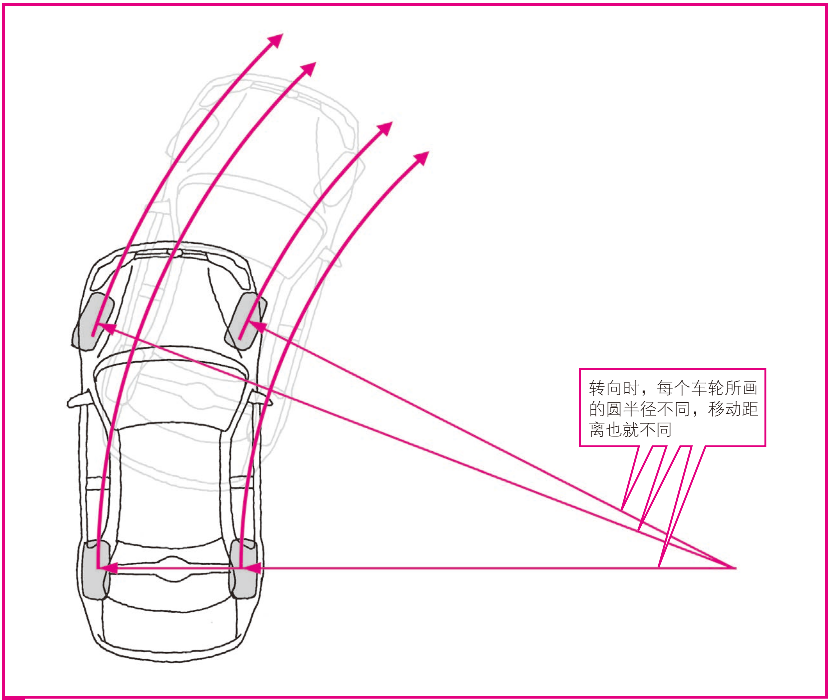


图3.8　转向时四个车轮的轨迹

即便如此，汽车也是作为一个整体行驶的，不能让内轮和外轮相互分离。因此，需要让行驶距离短的内轮缓慢转动，行驶距离长的外轮快速转动。但驱动汽车的力必须左右相同。如果内外轮驱动汽车的力不同，就会陷入向内倾陷、向外凸出等混乱的行驶状态，导致汽车

无法顺利转向，也不能保证行驶安全。

差速器能够使内轮缓慢转动、外轮快速转动，同时保证内外轮驱动汽车的力相同。我们把差速器的这个作用称为**差动**。

即使看着图也很难从差速器的结构上理解它的差动作用。它比较复杂，也容易混乱。所以你只需要先理解差速器是通过吸收内外轮的移动差来保证汽车顺利转弯的装置就可以了，我会在第 4 章中详细讲解差动的机制。

3.3.5 连接差速器和轮胎的传动轴

发动机的旋转力借助差速器传递至两个后轮（轮胎）。准确说来，从差速器传来的旋转力是经过**传动轴**传递到两个后轮。与万向节不同，传动轴由铁制成。

在传动轴和两个后轮之间，拥挤地排列着悬架臂和从发动机引出的排气管，是无法再容纳像万向节一样的粗管的。并且也不需要像万向节一样长，因此也就不用太过担心旋转引起的振动，所以传动轴就使用了纤巧实心的铁棒。这就是所谓的物尽其用。

轮胎安装在称为**轮毂**的轴承上，借助传动轴传递到左右两个后轮的旋转力带动轮胎转动。这样一来，汽车的旋转力就经过动力传动系（驱动系统）传递到了驱动轮。

汽车开动啦。

3.4 自动变速方式 1：变矩器式

3.4.1 自动变速器有三种

之前我们已经全面了解了动力传动系（驱动系统）的基础部分——手动变速器，接下来我将讲解实用的自动变速器。由于使用自动变速器时驾驶员无需通过控制离合器进行变速，因此其结构也就相对更复杂一些。

虽然我曾笼统地介绍过自动变速器，但它实际上分为好几种。第一种是自动操作手动变速器中的离合器，我们通常称之为**自动离合式**。

第二种是用**液力变矩器**取代离合器。切换齿轮的齿轮部分也与手动变速器不同。带液力变矩器的变速器是最常见的一种自动变速器，因此我们一般就直接把它称为自动变速器。

第三种是利用**无级变速器**，这种方法常被称为**传动带式** CVT。它是利用自动离合器和液力变矩器让汽车从静止状态起步的。

那么我就先讲一下最常见最普遍的、使用液力变矩器的自动变速器，先从取代了手动变速器中离合器的位置的液力变矩器开始讲起。

3.4.2 液力变矩器像面对面摆放的两个风扇

液力变矩器有两个功能。一个是与离合器相同的动力传递功能，负责将发动机的旋转力传递至变速器。另一个是增大发动机旋转力的功能。我会在介绍完液力变矩器之后，再讲解怎样利用带液力变矩器的自动变速器进行齿轮切换。

我在介绍离合器时讲过，变速器进行齿轮切换时，必须保证不把

发动机的旋转力传递到齿轮。使用手动变速器时，人们通过踩下离合器踏板切断或者传递发动机的旋转力，而自动变速器必须自动完成这一过程，因此需要用到有一定黏性的液体（**自动变速器油液**）（表 3.1）。之所以需要液体，是因为液体和气体所具有的一定的黏性有利于实现自动化。

表 3.1　手动变速器和自动变速器主要的不同

	手动变速器	自动变速器（液力变矩器式）
发动机和变速器的连接处	离合器	液力变矩器
连接处的结构	摩擦片压紧飞轮，连接发动机和变速器。摩擦片松开时发动机的旋转力就无法传递至变速器	发动机和变速器之间安装了盛有液体的液力变矩器，发动机的旋转力通过液体传递到变速器
切换齿轮的时机	驾驶员踩下离合器踏板进行齿轮切换时	液体的液压和离心力发生变化时。甚至要用到基于汽车的加减速状态的电脑控制
使用的齿轮	正齿轮	行星齿轮

液力变矩器类似于两个面对面的风扇（图 3.9）。一侧的电风扇带来的风会带动另一侧电风扇的扇叶转动。并且，一侧的电风扇转速提高时，对面的电风扇也开始快速转动，这是因为空气的流动带动了另一侧电风扇扇叶的转动。但是用手下压另一侧电风扇的扇叶就能很快使其停止转动，这是因为驱动扇叶的只是空气流，些许阻力也能很快使

其停转。这样一来，也就使得两个电风扇扇叶的转动不再同步。

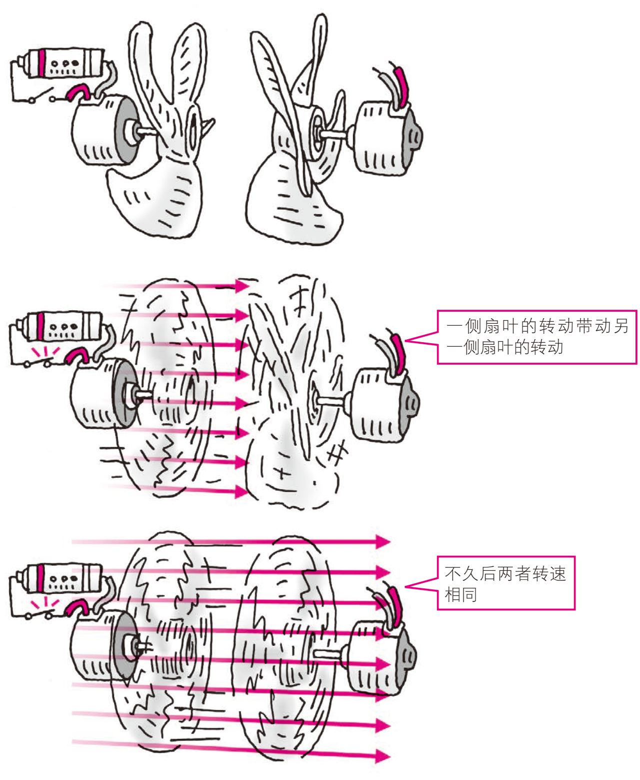


图3.9　液力变矩器的结构图
扇叶相对，传递旋转力。

风带动另一侧的电风扇转动的状态，就相当于手动变速器中连接上离合器的状态。增加阻力使另一侧的电风扇停转，也就相当于踩下了离合器踏板。这样一来，就能利用气体和液体所具有的一定的黏性传递动力了。

与电风扇的例子相同，液力变矩器也配备了两个面对面的扇叶。虽说是扇叶，但其形状不同于电风扇的扇叶，而是类似于水车的转轮（图 3.10）。一侧的扇叶安置在发动机后的飞轮（惯性轮）上，发动机的旋转力和飞轮的旋转共同带动发动机一侧的扇叶旋转，搅拌液力变矩器内的液体（自动变速器油液）。这就类似于刚才所说的电风扇带动了风。

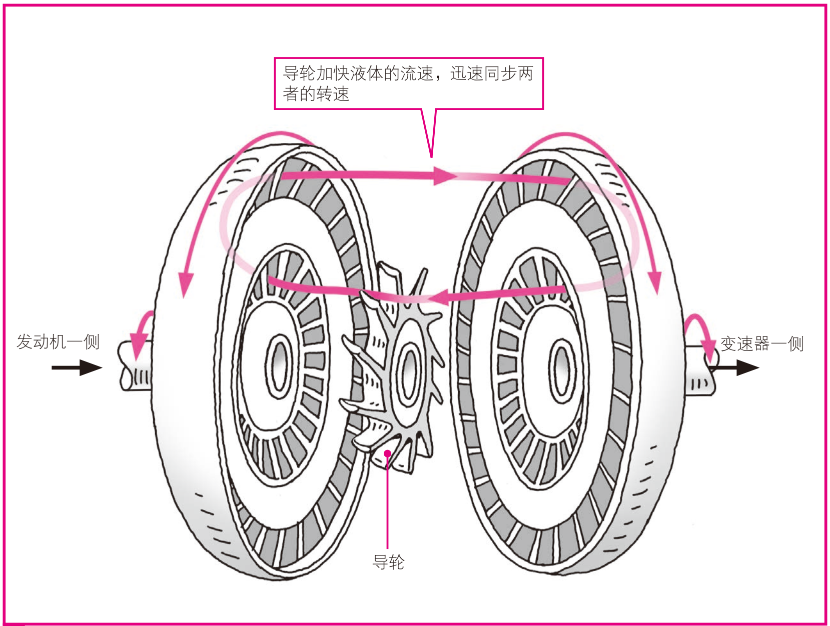


图3.10　液力变矩器的内部
两个扇叶之间是加快流势的导轮

自动变速器油液的流动带动另一侧的扇叶开始转动。这样一来，发动机的旋转力就传递到了位于液力变矩器之后的自动变速器的齿轮上。顺便提一句，自动变速器油液是可以循环使用的。

3.4.3 用导轮加快液体的流速

接下来我将讲解液力变矩器的第二个功能——增大旋转力。与离合器不同，液力变矩器还有一个附加功能，就是增大旋转力。刚才我讲到，由一侧扇叶的旋转带动的液体的流动会传递到另一侧的扇叶。其实，此时的液力变矩器还在完成另一个任务。

为了加快循环的自动变速器油液的流势，在液力变矩器的两个扇叶之间安上了**导轮**（图 3.10）。

当发动机一侧的扇叶转速与变速器一侧的扇叶转速不同时，自动变速器油液撞击到导轮叶片后会顺着导轮叶片的形状产生动力，加快液体的流势。这就使得发动机一侧的扇叶转速和变速器一侧的扇叶转速能够在短时间内实现同步。当两个扇叶的转速相同时，发动机的旋转力就能无损耗地传递到后面自动变速器的齿轮上。而当转速不同时，发动机的旋转力就无法充分传递到变速器。

当两个扇叶的转速相同时，导轮也与两个扇叶实现了同步。这就意味着导轮完成了加快自动变速器油液流势的任务。也就是说，当两个齿轮的转速相同时，导轮就实现了增大扭矩的功能。它不同于手动变速器中利用齿轮和差速器所进行的减速。

发动机一侧的扇叶转速与变速器一侧的扇叶转速不同，类似于手动变速器中的半联动状态。在半联动状态下，发动机的旋转力无法充分传递至驱动轮。利用导轮加快液体的流势，使变速器一侧的扇叶转速与发动机一侧的扇叶转速快速实现同步，就能减少旋转力的浪费。实际上，装上导轮后，驾驶员会觉得提速很快。

借助导轮和自动变速器油液，发动机的旋转力很难快速、无损耗

传递的缺点得到了改善。

3.4.4 离合器与液力变矩器强强联合

随着技术的进步，汽车生产商们又给液力变矩器增加了**锁止装置**。

我在举电风扇的例子时讲过，利用液体传递旋转力时，只需些许阻力就能够使扇叶很快停转。就像手动变速器的飞轮和离合器一样，固体间的直接压紧的确能够无损耗地传递发动机的旋转力。因此，带有锁止装置的液力变矩器就诞生了。

这是在液力变矩器中同时安装离合器的方式，我们称之为**锁止**（lock up），是指在汽车完成发动、加速、变速后匀速行驶时，让离合器的摩擦片压紧飞轮盘。lock up 本身就有落锁固定的意思。这样一来，发动机的旋转力就能利用离合器无损耗地传递至驱动轮了。

锁止离合器摩擦片的压紧，最初是利用了自动变速器油液的流势，但如今都是运用电脑控制离合器的开闭。这样一来，就能使离合器迅速压紧，也就能将发动机的旋转力高效快捷地传递到驱动轮了。同时能给乘车人带来强烈的行驶感，也有利于降低油耗。

有了锁止装置，搭载自动变速器汽车的提速时间也就短多了。

3.4.5 使用三个齿轮的行星齿轮

液力变矩器的后面是变速器，这一变速器内的齿轮不同于手动变速器中的普通齿轮（**正齿轮**）组合。

自动变速器中使用的齿轮是**行星齿轮**（图 3.11，照片 3.1）。齿轮的组合类似于太阳系的行星围绕着太阳公转，所以叫做行星齿轮（planetary gear）。

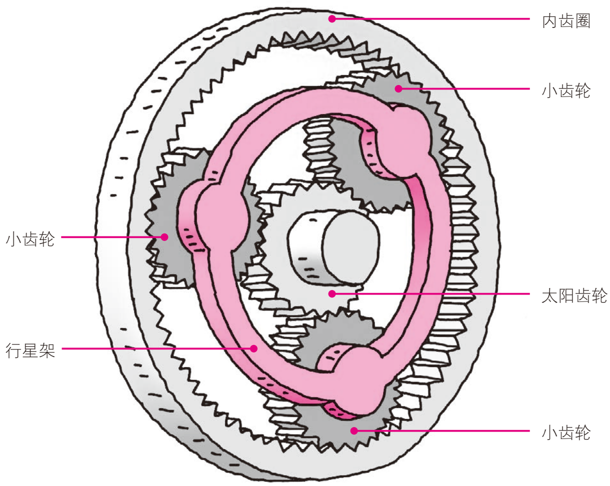
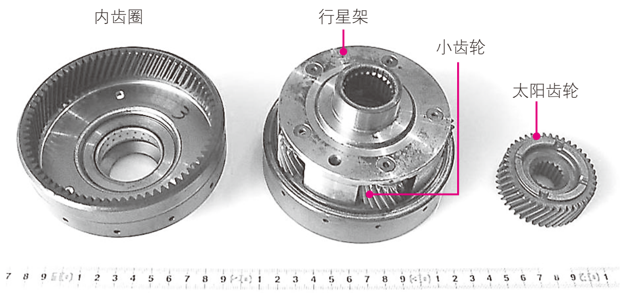


图3.11　行星齿轮
中间是太阳齿轮，周围是三个小齿轮，外侧是内齿圈。



照片3.1　行星齿轮
左边是内齿圈，中间是装在行星架中的小齿轮，右边是太阳齿轮。照片由加特可①提供。

---

① JATCO株式会社，世界最大自动变速箱的生产厂家之一，主要产品为汽车用有级变速箱（AT）和无级变速箱（CVT）。——译者注

行星齿轮组合有利于汽车进行自动变速。然而由于通常是很多齿轮同时啮合旋转，摩擦也就随啮合的齿轮数量相应增加。在这一点上，由于使用正齿轮的手动变速器中传递旋转的齿轮组合往往只有一组，也就能够减少齿轮啮合产生的摩擦所带来的损耗。因此手动变速器不用行星齿轮，而是使用正齿轮。

我再详细说一下行星齿轮。行星齿轮的中间是**太阳齿轮**，类似于太阳系中太阳所处的位置。周围排列着**小齿轮**，相当于行星。在最外面围绕着这些齿轮的是**内齿圈**。

要理解各个齿轮之间是如何相互作用的或许有些难。如果你觉得很难理解，只需要记住一点，即在自动变速器中，是通过区别使用行星齿轮的三种齿轮进行自动变速的。接下来，你可以直接看 3.5 节的内容了。

3.4.6 利用两个齿轮的组合进行齿轮切换

那么，想要详细了解行星齿轮运作方式的读者，就来听我讲解一下吧。一套行星齿轮包括太阳齿轮、小齿轮和内齿圈这三种。如图 3.11 所示，小齿轮有三个，由里侧的框架（**行星架**）串起。当行星齿轮横向旋转时，三个小齿轮保持着一定的间隔共同移动。

变速时，只使用太阳齿轮、小齿轮和内齿圈中的两种齿轮，剩下的一种固定不动。关于如何只固定三种齿轮中的一种，我会在介绍完自动变速的结构后再进行说明。在行星齿轮中，是通过改变两种动态的齿轮进行切换的。

举一个具体的例子来说明。首先，保持外围的内齿圈固定不动，让发动机的旋转力传递至太阳齿轮使其转动。接着，与太阳齿轮啮合

的小齿轮一边横向移动一边转动。此时，小齿轮在各自自转的同时，一起围绕着太阳齿轮公转。这就是 1 挡的齿轮组合（图 3.12）。借助行星架的转动，小齿轮的公转传递到驱动轮，使汽车发动。

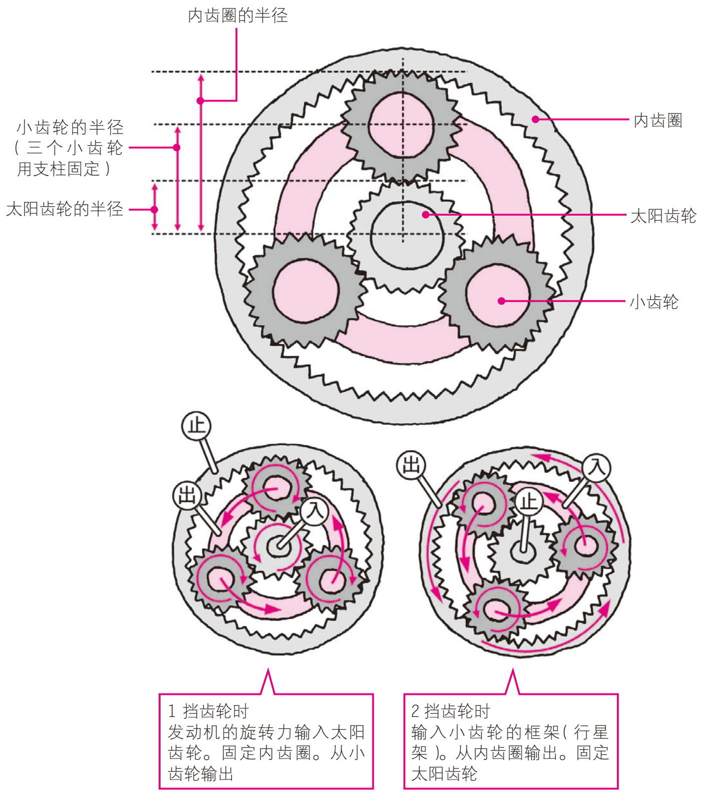


图3.12　行星齿轮中的直径关系
假设太阳齿轮的半径为1，小齿轮的半径为2（从太阳齿轮的中心算起），内齿圈的半径为3。行星齿轮通过切换输入和输出的齿轮改变齿轮的半径比。

接着，固定中间的太阳齿轮，发动机的旋转就传递到了小齿轮上。

小齿轮自转的同时围绕太阳齿轮公转，带动外围的内齿圈转动。这是2挡。

然后，让所有齿轮开始转动，不久3个齿轮的转速就相同了。也就是说，大小齿轮在尺寸上的不同并没有引起减速，而是将发动机的旋转力原原本本地传递到了驱动轮。这时，发动机的旋转力无论传递到哪个齿轮，都能不减速、无损耗地传递到车轮。即处于发动机的旋转力无损耗地传递到驱动轮的直接传递状态，减速比为1∶1。这是3挡。

接下来与2挡相同也是固定太阳齿轮，但需要让发动机的旋转传递到内齿圈。随后，小齿轮在自转的同时公转，形成大齿轮带动小齿轮的关系，类似于齿轮比反过来成为1∶2的状态。这是4挡。

当与1挡同样固定了内齿圈时，将发动机的旋转力传递到小齿轮，从而带动太阳齿轮转动，也体现了大齿轮带动小齿轮的关系。这就选定了5挡的齿轮组合。但4挡和5挡时，齿轮比会小于1，即齿轮转速快于发动机转速，我们称之为**超速挡**。

自动变速器诞生时，3挡变速是主流。这是因为当时不使用4挡和5挡这两个超速挡，只用最初的1~3挡。后来出现的5挡和6挡自动变速器同时使用了两组行星齿轮。

之前我说过，即使看着图，也很难理解在行星齿轮中该让哪个齿轮固定、让哪个齿轮转动，从而带动哪个齿轮转动。但就基本方法来说，这与在手动变速器中通过变换大小齿轮的组合改变齿轮比并无二致。

3.4.7 行星齿轮也是利用齿轮的半径比进行变速

请再看一遍图3.12，思考1挡时使用的太阳齿轮和小齿轮的关系。试着比较一下从太阳齿轮的中心到其锯齿的半径和从其中心到行星架中心的半径就会发现：当小齿轮（太阳齿轮）的半径为1时，大齿轮（从太阳齿轮中心到行星架中心）的半径就是2，即齿轮的半径比为2：1。

说到这里，你或许会想到手动变速器所用的正齿轮在1挡时的齿轮比为4：1，会觉得行星齿轮1挡时半径比为2：1有些奇怪。实际上自动变速器一般都有两个行星齿轮。途经两个2：1的行星齿轮后，齿轮比就会变成4：1，与手动变速器的1挡相同①。同时使用两个行星齿轮的状态是十分复杂的，我们就只了解一下2挡以上时一个行星齿轮中各齿轮半径的不同吧。

请比较一下2挡时从太阳齿轮中心到行星架的半径和从太阳齿轮中心到内齿圈锯齿的半径。1挡时小齿轮和太阳齿轮的半径比是2：1，2挡时内齿圈和小齿轮的半径比为3：2。与1挡时的齿轮组合相比，2挡齿轮组合的半径差变小了。

3挡时三种齿轮都在转动，请想象一下此时如果没有行星齿轮会怎样。如果三种齿轮由1根轴串成直线，发动机的旋转力就能不减速、无损耗地传递到轮胎。

当固定了太阳齿轮、将发动机的旋转力传递到内齿圈时，内齿圈

① 在大多数情况下，自动变速器都使用能够借助导轮增大扭矩的液力变矩器。但自动变速器在增大扭矩后都是将旋转力传递到行星齿轮，这一点与手动变速器不同。并且，其最终齿轮比与差速器的齿轮比有关，因此需要从汽车的整体来考虑。

的半径和从太阳齿轮中心到行星架中心的半径之间的关系，就与 1 挡和 2 挡时完全相反了。当固定了内齿圈、将发动机的旋转力传递至小齿轮从而带动太阳齿轮转动时，大小齿轮的关系也与 1 挡和 2 挡时相反。

如上所述，行星齿轮相当复杂，但与正齿轮一样，也要选择大小齿轮的组合。并且，关注一下旋转齿轮的半径，就很容易明白齿轮比的原理了。

3.4.8 利用离合器和制动器等驱动行星齿轮

那么，怎样才能使三种齿轮停转、选择输入发动机旋转力的齿轮呢？那就需要区别使用负责切断或传递动力的**离合器**、用于停转的**制动器**和只传递一个方向旋转的**单向离合器**。利用这些装置，可以随时连接或切断与太阳齿轮、小齿轮、内齿圈相连的轴，并使齿轮停转。

与讲解发动机和锁止时所介绍的离合器相同，这里使用的离合器装置也是利用摩擦片切断或传递旋转力的。但它不是位于发动机之后的大圆盘状的装置，而是重叠了几个小圆盘状的离合器的**多片式离合器**(图 3.13)。

图 3.13 是装有行星齿轮和多片式离合器的变速箱的剖面图。图左侧的线是多片式离合器，右侧着色的长方形是行星齿轮中的小齿轮。图中并排着两组行星齿轮。啮合哪一个多片式离合器，决定了要将旋转力传递到行星齿轮的哪个齿轮。例如，啮合左上角的多片式离合器(①)时，旋转力随箭头所指通过中心轴(②)传递到右侧的小齿轮(③)。随后经过小齿轮中心时，小齿轮行星架(④)开始转动，将旋转力传递至轮胎。自动变速器就是通过如此复杂的切换自动变速的。

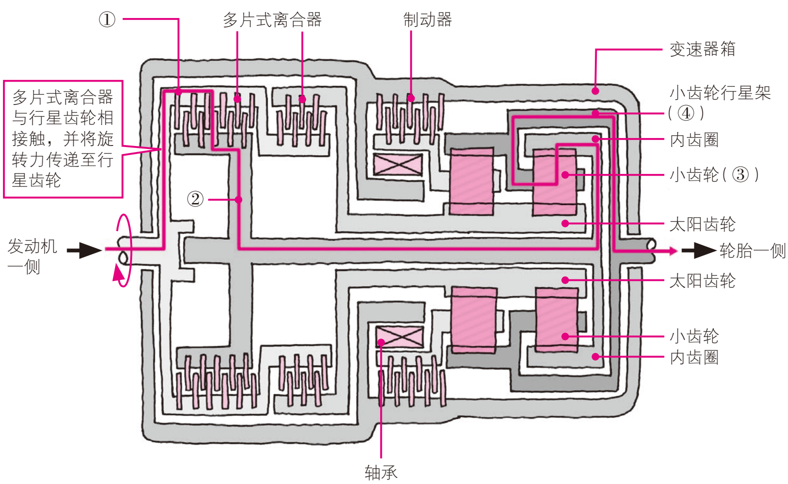


图3.13　行星齿轮中使用的多片式离合器
装有行星齿轮和多片式离合器的变速箱的剖面图。右侧是行星齿轮，左侧是重叠了几个小圆盘状的离合器的多片式离合器。啮合哪一个多片式离合器，决定了要将旋转力传递到哪个齿轮。箭头是指啮合了左侧的多片式离合器，沿①~④的路线传递到轮胎。

与多片式离合器一样，这里所用的制动器也是重叠了几个带有摩擦片的小圆盘的装置。利用摩擦片压紧变速箱，使齿轮停转，也就起到了制动器的作用。

单向离合器就类似于我们常用的厨房用具——擦菜板。只能沿着一个方向，无法反向使用。比如只能传递右旋转，却使左旋转处于空转状态而无法传递其旋转力。

自动变速器包含了多片式离合器、制动器和单向离合器三个装置。结合实际情况区别使用这三个装置，就能将旋转力传递至行星齿轮的太阳齿轮、小齿轮和内齿圈，同时能够使其中任意一个固定不动。

多片式离合器、制动器和单向离合器的运转，利用了自动变速器油液产生的液压和液体旋转时的离心力。正因如此，自动变速器才要用到液体。设计好**油液循环路线**，决定何时让液压和离心力发挥作用，也就把握住了自动变速器的关键。油液循环路线如迷宫一样规定了油液的循环通道，其设计的好坏直接关系到驾驶员能否顺利平稳地加速。

现在的汽车中除了使用油液循环路线之外，还利用了智能控制。它首先判断汽车是在加速、减速还是在匀速行驶，再利用电子信号提示目前应该使用的齿轮组合，同时负责切换离合器、制动器和单向离合器等各个装置。这样一来就减小了齿轮切换时的振动，降低了油耗。

自动变速器由液力变矩器、行星齿轮和油液循环路线等复杂的装置组合而成，光讲解这些装置就可以写成一本书了。

但是在这里，你只需了解两点就够了。一是自动变速器与手动变速器一样，都是利用大小齿轮的组合改变齿轮比。二是自动变速器利用的是不同于手动变速器中正齿轮的行星齿轮进行自动变速的。

3.5 自动变速方式 2：自动离合器式

代替了人工的电脑控制和液压装置

下面我将要讲解的是自动变速的第二种方式：自动离合器式。**自动离合器式**，是利用手动变速器中使用正齿轮的常啮合式装置，自动控制离合器进行齿轮变换。

由于自动离合器式也是自动变速，因此称之为自动变速器无可厚非。但之前也讲过，提到自动变速时，通常是指利用液力变矩器和行

星齿轮进行变速的方式，因此我就暂且使用自动离合器式这个别名吧。

由于自动离合器式汽车的驾驶座位置上没有离合器踏板，只有加速器踏板和制动器踏板，因此只要持有小型自动挡汽车驾照（即 C2）即可驾驶。自动离合器式的工作原理是利用液压接合或分离离合器，并进行齿轮切换。

它是先利用传感器检测汽车是在加速、减速还是在匀速行驶，再通过电脑判断液压发挥作用的时机和齿轮切换的时间。虽然加装了代替人接合、分离离合器和进行齿轮切换的液压装置，但离合器和变速器的零件仍然沿用了手动变速器的零部件。这就使得自动离合器式在控制了开发和生产经费（成本）的同时也尝到了自动变速的甜头。因此，它开始以欧洲小型汽车为中心普及，而这些小型汽车原来大多搭载的是手动变速器。

不久，出现了由自动离合器式发展而来的新自动离合器式。它使用了两个离合器，从而使汽车能够更顺利地变换齿轮。我们称之为**双重离合器式**或**两脚离合器式**。

这种方法使用两个离合器，一个用于奇数齿轮，即 1 挡、3 挡和 5 挡，另一个用于偶数齿轮，即 2 挡、4 挡和 6 挡。1 挡带动汽车发动后，2 挡齿轮做准备，偶数用的离合器处于分离待机状态。由于从轮胎的旋转就能看出汽车加速的状态，因此发动机转速提高后就分离了 1 挡的离合器，接合处于待机状态的 2 挡的离合器。这样一来，既缩短了齿轮切换的时间，又能自然顺利地完成变速，驾驶员甚至感受不到齿轮的切换。并且，利用电脑选择最适合的齿轮，还能够降低油耗。

3.6 自动变速方式 3：CVT

利用传动带顺利转换齿轮

下面我将讲解自动变速的第 3 种方式——**无级变速器**（CVT）。CVT 是 Continuously Valiable Transmission 的缩写，顾名思义，就是能进行无级变速的变速器的意思。虽然也是自动变速器的一种，但为了和常见的使用液力变矩器和行星齿轮的方式区分开来，与自动离合式相同，把它称为 CVT。

无论是手动变速器，还是自动变速器，都有 1 挡、2 挡这样的变速级数，但 CVT 没有，这就是称之为“无级”的原因。

20 世纪 80 年代中后期，CVT 开始应用于市售车。在以小型汽车中普及的同时，也开始应用于拥有大排量发动机的汽车。

CVT 的最大目标是降低油耗。为了抑制全球变暖，人们开始追求油耗的降低，由此 CVT 逐渐普及。那么，CVT 是如何降低油耗的呢？

无疑，CVT 的优势在于没有变速级数。换言之，它具有无限增大变速级数的效果。我来举个具体的例子。

假设你驾驶的汽车搭载着使用普通齿轮的变速器，而不是 CVT。爬坡时，你一定有过这样的经历：无论是手动变速器还是自动变速器，2 挡时发动机转速过快，3 挡时转速反而太慢，导致动力不足。

这样看来，汽车在行驶过程中总会遇到无论选择哪个挡位都不合适的情况。这时要么速度不理想行驶得太慢，要么发动机转速过高噪声太大。如果为了提速想要加快发动机转速，用力踩下加速踏板又会提高油耗。这时，你是不是会想“要是有不快不慢刚刚好的齿轮组合该

有多好”呢？

CVT 就能实现你的愿望。它能够根据汽车的实际行驶状况，无限增大变速的级数，即实现无级变速。

CVT 仅由两个滚轮和包裹滚轮的传动带（或链条）组成，结构极其简单（图 3.14）。两个滚轮中一个位于发动机一侧，另一个位于驱动轮（轮胎）一侧，传动带负责将发动机的旋转力传递到驱动轮一侧。

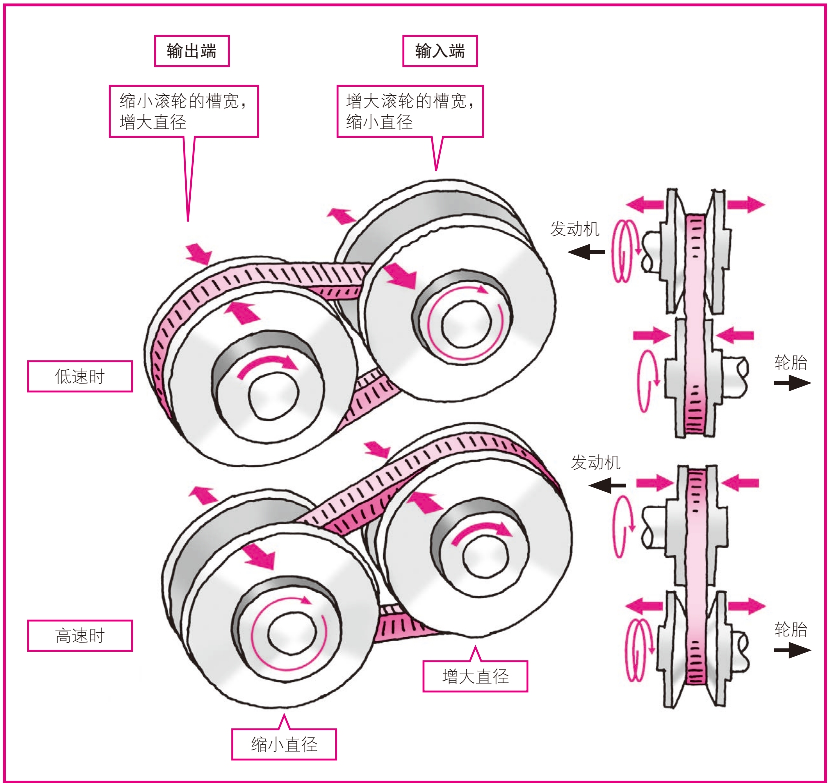


图3.14　CVT的结构
通过改变滚轮V型槽的槽宽，就能改变包裹着传动带的滚轮的直径。这就相当于配备了多个直径不同的齿轮。

CVT 的工作原理如下。首先，CVT 的滚轮上有 V 字型的槽（V 型槽），行驶过程中两个滚轮都能够扩大或缩小槽宽。通过改变滚轮上 V 型槽的槽宽，就能增大或减小包裹着传动带的滚轮的槽径（直径）。改变滚轮的槽径与改变大小齿轮组合的效果相同，滚轮直径的不同相当于大小齿轮直径的不同，因此就能实现汽车的加速和减速。

这里的关键是如何自由改变滑轮的直径。没有了像齿轮一样从 4：1 到 3：1 的级差，它就能够根据汽车的实际行驶状况调整到最适合的比率。

CVT 是借助液压调整滚轮的 V 型槽的，因此有必要增大液压。带动液压泵工作的是发动机的旋转力。虽然 CVT 的运转动力来自发动机，但相比较而言，无级变速能够使发动机的动力无损耗地贡献给行驶，因此总的来说，CVT 还是起到了降低油耗的作用。

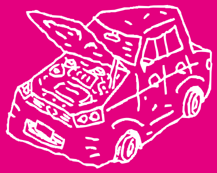
汽车利用电脑控制液压，调整滚轮的 V 型槽。通过利用传感器检测汽车的速度和驾驶员踩下加速踏板的程度调整滚轮，得到最适合的加速和最恰当的油耗。搭载了 CVT 的汽车之所以油耗低，就是因为它在保证发动机最高效旋转的同时能够实现自由变速。

除了刚才介绍过的传动带式，还出现过由圆盘和两个钢球构成的 CVT，但不久就销声匿迹了。这是因为钢球很重，且为了传递动力必须强力下压钢球，而这需要更大的液压，其效率远低于传送带式。

持有小型自动挡汽车驾照（即 C2）即可驾驶搭载 CVT 的汽车。

Column

汽车辟谣



汽车的最快速度与空气有关吗?

记者：你的汽车的最快速度是多少啊?

编辑：我一直都注重安全驾驶，时速从未超过 100km。

记者：这与汽车的性能有关。大多日本汽车的速度表上都只标到 180km。

编辑：嗯。

记者：但是谁也没试过。

编辑：那当然了，不能超速啊。

记者：但最快速度真的是时速 180km 吗?

编辑：速度表上是这么写的。难道不是吗?

记者：直到不久前，小型汽车和跑车还都把时速标到 180km。

编辑：我只坐高级车，不太清楚。不太可能吧，有点儿奇怪。

记者：你还坐过高级车? 算了算了。这个刻度的上限是日本国内自主规定的，是由政府和汽车生产商共同讨论决定的。先不管这些问题，你知道汽车的最快速度是由什么决定的吗?

编辑：是发动机的马力吗?

记者：不能说错，但也不全对。

编辑：别卖关子啦，快告诉我。

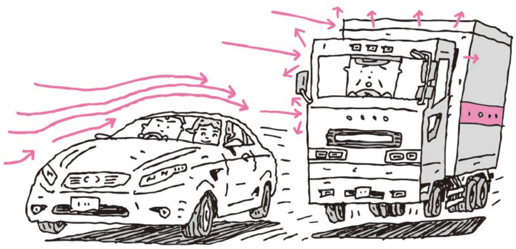
记者：是空气，空气的阻力。

编辑：噢。

记者：无论汽车搭载的发动机有多大马力，都没法在不受空气阻力影响的情况下加速。空气阻力是速度的平方。所以，加到最高速虽然需要发动机的马力，但以速度的平方增大的空气阻力也起到了支配作用。

编辑：你能别炫耀你的知识，非要讲得那么难吗?！你要是没法讲得连小孩子都懂，就写不出好的报道!

记者：别着急啊。比如说，速度变为原来的 2 倍时，空气阻力就



会增加到原来的4倍。时速100km时，空气阻力就是时速50km时的4倍。

编辑：差别那么大啊……

记者：所以新干线的车头才会做成鸭嘴形，这样就能减小空气阻力，尽力提升最快速度了。

编辑：怪不得汽车也会设计成跑车那样尖尖的形状呢，原来是考虑到空气阻力啊。

记者：是啊。所以我才说汽车的最快速度是由空气阻力决定的嘛。汽车的形状、车体的大小，以及车体表面的凹凸都会影响空气阻力。在卡车驾驶座的头顶部加上挡风板（整流板），也是为了减小四边形的卡车的空气阻力。如果开到没有空气的宇宙，就能无限提高最快速度。要是开得起劲，说不定就能开到宇宙的尽头。

编辑：那汽车实际上能跑多快呢？

记者：德国有一条不限制速度的高速公路，在那里，时速300km不再只是梦想。据说日产GT-R[①]在时速300km时，车里的人仍然可以不提心吊胆地随意聊天。在勒芒24小时汽车大赛[②]上，法国的一辆赛车曾达到时速400km。

编辑：日本的高速公路限速100km，无论最快速度有多快也没有用武之地。不过最快速度是由空气阻力决定的这一点，竟然连我都不知道。是个盲点，有点意思！快写成报道吧。

记者：遵命！

---

① 日本的日产汽车推出的其品牌下最顶级的跑车。——译者注

② 每年6月在法国的勒芒举行的被认为是最辛苦最乏味的24小时耐力赛。——译者注

第4章

转向

——借助轮胎和差速器顺利转向

热身问答

阅读正文前，让我们先回答下面的问题来热热身吧。

问题

在汽车转向时起到重要作用的“抓地力”指的是什么?

1. 方向盘的握法
2. 轮胎产生的与地面接触的力
3. 因轮胎“变形”产生的力

答案

2. 轮胎产生的与地面接触的力

解析

转向时，驾驶员首先转动方向盘，接着前轮改变方向开始转向。这时轮胎必须紧抓路面，承受汽车转向时产生的离心力。

我们把轮胎紧抓路面的力称为抓地力，它会因道路状况的不同而发生变化，如普通路面、下过雨的路面、沙土路或者冰雪路等。即抓地力的大小不仅与轮胎本身的性能相关，还会受到道路状况的影响。

并且，不仅在转向时，在加速和制动时，轮胎的抓地力也充当着重要的角色。

本章重点

在第 4 章中，我将依序讲解汽车是怎样转向的。当驾驶员转动方向盘时，前轮改变方向，汽车开始转向。轮胎是汽车中唯一与路面接触的零件，因此它是汽车转向时的关键。这样看来，怎样灵活利用轮胎紧抓地面的抓地力，就成为汽车转向时的重中之重。

在第 3 章中我讲过，差速器对后轮来说意义重大，它能够帮助汽车顺利转向。本章我将解释在汽车转向时必不可少的轮胎的功能和差速器的结构。

本章看点

(1)改变汽车方向的转向系统

驾驶员转动方向盘时，前轮借助转向系统改变方向。除了转向系统的结构之外，我还将讲解能够帮助汽车轻松转向的动力转向系统。

(2)借助轮胎的变形和弯曲转向

轮胎由橡胶和纤维制成，里面是空气。这种柔软的结构在汽车转向时发挥了重要的作用。我将在后面详细介绍轮胎。

(3)轮胎的抓地力支撑汽车

无论汽车是在行驶还是在转向，轮胎的抓地力都不可或缺。没有抓地力，汽车寸步难行。我将详细解释什么是抓地力，以及汽车是怎样借助抓地力转向的。

（4）差速器用于调整左右轮转速

差速器由齿轮组合而成。它在将发动机的旋转力传递到后轮的同时，负责调整左右轮转速，以便汽车能够顺利转向。我会帮你弄懂差速器的复杂结构。

（5）利用悬架调整车体的倾斜度

悬架位于车体和轮胎之间，在汽车转向时协助车体倾斜。悬架负责调整车体的倾斜程度，帮助汽车顺利转向，我将主要介绍悬架的这一功能。

4.1 改变汽车方向的转向系统

4.1.1 方向盘的转动带动齿轮工作

到第 3 章为止，汽车已经发动了。接下来，只要驾驶员转动方向盘，前轮改变了方向，汽车就开始转向了。

仅“转动方向盘、汽车转向”这一个动作，就有多个装置在起作用。这里的主角是**转向系统**。转向系统由**方向盘**、**转向轴**、**转向齿轮**、**横拉杆**、**节臂**和**轮毂**组成（图 4.1），接下来我将依次讲解这些装置。

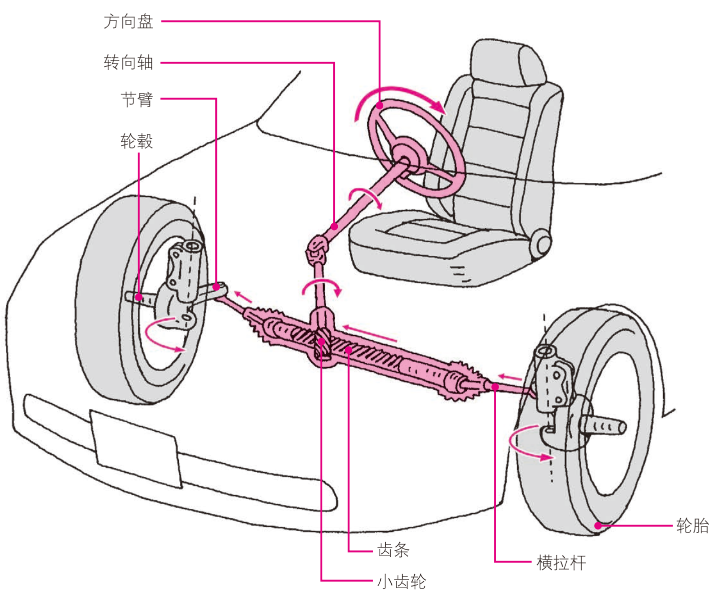


图4.1　汽车的转向系统

方向盘的前端连着转向轴，转向轴的前端是齿轮。我们把这个齿

轮称为**小齿轮**，小齿轮与另一排锯齿相啮合。但这些锯齿不是刻在圆盘状的齿轮上，而是刻在一根直杆上，我们称之为**齿条**。小齿轮和齿条相啮合的装置叫做**转向齿轮**，且这种小齿轮和齿条的齿轮组合被称为**齿轮齿条式**。

当驾驶员转动方向盘时，这一动作会经由转向轴传递到齿轮齿条式的转向齿轮上。转向轴的转动带动小齿轮旋转，再通过小齿轮的锯齿传递到齿条。接着，齿条开始左右横向运动，连接在齿条前端的**横拉杆**也开始横向移动。横拉杆的横向移动带动**轮毂**（车轴）上的**节臂**运动，轮毂随节臂的运动开始转动，从而改变前轮的方向。

这样一来，行驶中的汽车就开始转向了。这样看来，转向系统并没有那么复杂。

4.1.2 动力转向系统借助助力实现轻松转向

如果只考虑汽车转向，那只用刚才介绍的转向系统就足够了。但如果你想行驶得更加轻松，就要使用**动力转向系统**。它通过给转向齿轮增加助力，帮助汽车轻松转向，即使是在驾驶员以很小的腕力转动方向盘的情况下也是如此。动力转向系统与之前介绍的普通的转向系统，在结构上是相同的。

动力转向系统有三种类型，分别是：①液压式，②电子液压式，③电动式。①液压式是利用发动机的旋转力带动液压泵工作，将生成的液压施加到转向齿轮上成为助力。由于它使用的是发动机产生的本应用于行驶的力，也就意味着会增加油耗。因此，接下来将要介绍的电子液压式和电动式就逐渐取代了液压式，成为动力转向系统的主流。

蓄电池产生的电转动起动机，②电子液压式正是借助起动机而不

是发动机的旋转力来带动液压泵工作的。除此之外，它与液压式的原理相同，将生成的液压施加到转向齿轮上成为助力。

③电动式是利用蓄电池产生的电直接将转动的起动机和转向轴及齿条相啮合，通过增加起动机的旋转力辅助转向齿轮的转动。

4.2 借助轮胎的变形和弯曲转向

4.2.1 轮胎具有柔软性，可以改变形状

汽车通过改变前轮的方向开始转向。此时为了使汽车顺畅、平稳地转向，还要做些努力。差速器和悬架也发挥了重要作用，但在介绍这些装置之前，我想先讲解一下轮胎。

轮胎由橡胶和纤维等具有柔软性的材料制成，而柔软性在转向时意义重大。借助转向系统改变方向的前轮轮胎，由于其柔软性会有些许的变形。这种“变形”就是汽车转向时的点睛之笔。

轮胎由橡胶和纤维制成，中空（照片 4.1）。中空部分充满了高压空气，以小型汽车的轮胎为例，其中空部分空气的压力可以达到我们所生活的地面气压的 2~2.5 倍。轮胎的表面膨胀起来，用手指按压时也会觉得相当坚硬。但另一方面，轮胎也有柔软性。承载着 1 吨多重的汽车的轮胎，也会因负重而变形。这种变形就体现了轮胎的柔软性。正是因为具备了柔软性，轮胎才能在转向时改变形状。

没有轮胎的变形和弯曲，汽车就不能自由转向。让我们来回想一下 19 世纪汽车刚刚诞生时的景象。当时的汽车使用的车轮不同于现在，而是保留着马车车轮的特点，在木质圆环外包裹上薄铁皮的车轮。



照片4.1　轮胎的剖面图
中空。照片由普利司通轮胎公司提供。

虽然只要提高发动机的性能，使用这种车轮也能加速，但想要停车时却迟迟无法减速。大家都知道，如果不减速，汽车就无法顺利转向。因此当时的汽车时速至多只有几十公里，与马车的速度相差无几。直到 19 世纪末诞生了充满空气的轮胎，汽车的速度才有所提升。因此，在轮胎出现之前，汽车都无法安全地急刹车，也不能快速转向。

4.2.2 充分利用轮胎的四边形触地面

让我们来详细了解一下轮胎的变形和弯曲，看看它们是怎么帮助汽车顺利转向的。首先看一下轮胎的变形。

仔细观察一下处于静止状态的汽车轮胎就会发现，与地面接触的部分变形而且有些压瘪了（图 4.2）。即使在汽车发动时，变形也依然存在。

轮胎与道路的触地面因变形而接近于四边形。实际上轮胎生产商们也做过实验，他们将路面的一部分换成玻璃，以便从玻璃下方观察

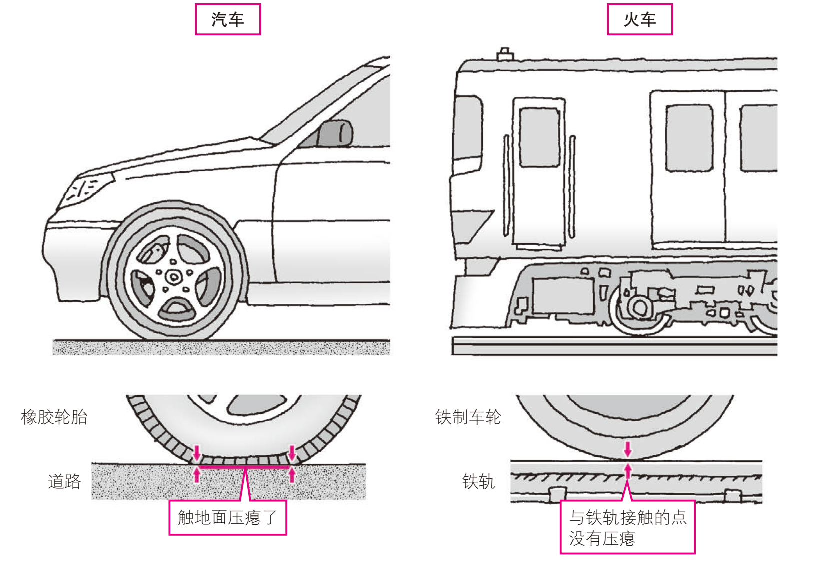


图4.2　汽车的轮胎和火车的车轮
轮胎的触地面变形形成面，而火车的车轮与铁轨的接触部分是点。

到轮胎碾过时的情况，结果确实发现轮胎的触地面呈四边形。

小型汽车轮胎触地面上的四边形大致相当于明信片或手掌大小（图4.3）。由橡胶和纤维等柔软材料制成的轮胎，因其柔软性在车体的重量压迫下变形，从而在轮胎和路面之间形成手掌大小的触地面。

火车的车轮是铁制的，因此在与铁轨的接触点上不会变形[①]。车轮

① 极少数的火车也会使用轮胎，例如札幌市营地铁就使用橡胶制成的轮胎。与铁制车轮相比，它的加减速更加容易，爬坡能力强，还能节省养护成本，没有噪声，乘坐舒适度也很高。但由于火车比汽车重得多，甚至能达到几十吨，因而轮胎的橡胶很容易磨损，这是其很明显的缺点。之后，东京的“红嘴鸥”等新型城市的交通中也使用了轮胎，但因车体上下振动，其乘坐舒适度未必很高。

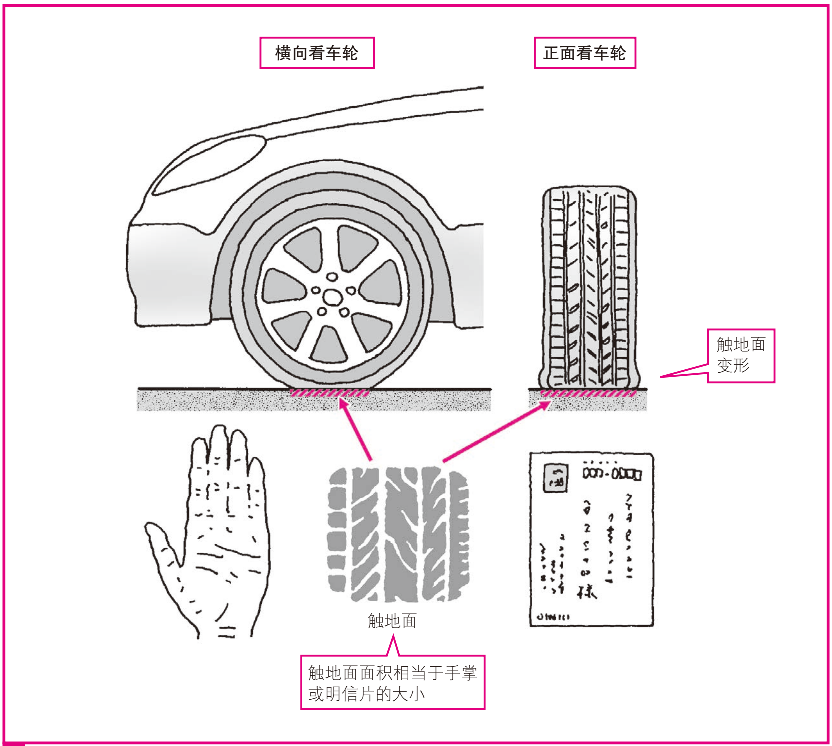


图4.3　轮胎的触地面面积相当于手掌或明信片的大小

与铁轨的接触部分横看是点，但从下往上看时就会发现是一条线。因此，从与路面的接触部分来看，轮胎呈现四边形，而铁制车轮则呈一条线，这就是两者的不同之处。

与火车车轮与铁轨相接形成的“线”相比，轮胎的“面”更能保证汽车高速行驶、安全转向、顺利停车。

轮胎能够根据实际情况在很多方面充分利用触地面。例如当汽车直线行驶时，轮胎从触地面的前方与地面接触，向触地面的后方“驱

赶”路面，从而使汽车前进。同时，为了不让汽车横向偏离，轮胎借助触地面的两边紧抓路面。当汽车转向时，轮胎借助触地面的外侧紧抓路面。这样看来，轮胎并不总是同时利用全部的四边形触地面，而是利用某一个或某几个面，帮助汽车自由行驶。

如果以人们如何使用脚掌内侧为例解释这一状态，或许就更好理解了。无论是走路还是站立，都无需使用整个脚掌内侧，而是靠脚掌内侧的一部分站立或者走路。走路时也好，跑步时也好，都是通过脚后跟着地、用脚尖“驱赶”路面来前进。不经过长期训练是无法像芭蕾舞演员一样只用脚尖站立并能自由行走的。

火车的车轮与地面接触的部分不是面而是线，但因其是沿着轨道行驶，也就能够安全地前进、转向和停车。然而火车车轮一旦脱轨，其行驶就无法得到有效控制，将直接导致事故的发生。

4.2.3 轮胎弯曲，产生侧偏力

接下来我将解释轮胎的弯曲。大家或许会觉得，转动方向盘时会改变前轮的方向，汽车自然就会转向。当然，情况也确实如此。

但当汽车的速度达到时速 100km 时，驾驶员就无法仅靠改变前轮方向来实现汽车向既定方向的转向。如果不能抵抗离心力支撑不住汽车，就无法彻底转向，甚至会飞离路面。火车是由铁轨承担支撑作用的，而汽车没有铁轨，只能依靠轮胎的弯曲发挥支撑作用。

轮胎的弯曲发生在由于轮胎变形形成的四边形触地面上。举个常见的例子，当你把手掌压在桌子上，弯曲手腕改变手的方向时，会觉得手掌有扭歪感。这就类似于轮胎在触地面上产生的弯曲。

这种弯曲会在汽车转向时产生很大的力量，我们将这种力称为**侧偏力**(图 4.4)。

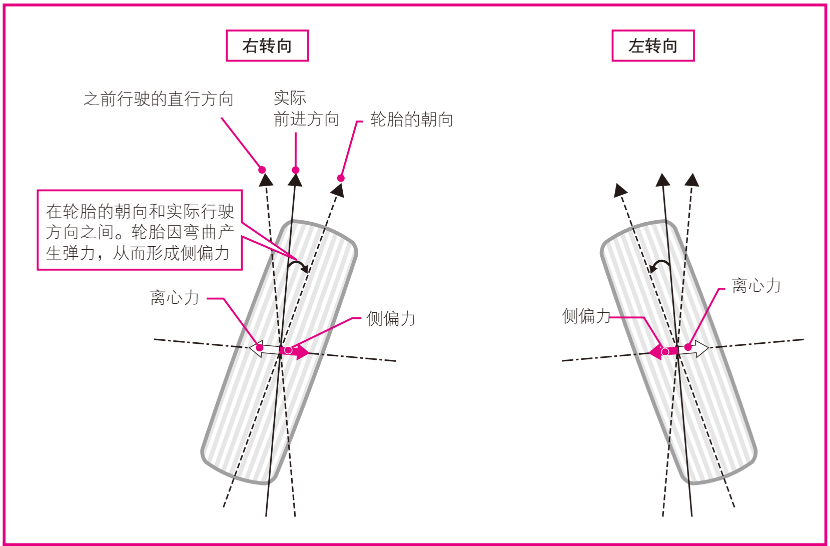


图4.4　轮胎的弯曲产生侧偏力
轮胎在转向方向和直行方向之间产生弯曲，这种弯曲生成了侧偏力。

汽车转向时，侧偏力用于抵抗离心力。当侧偏力小于离心力时，汽车就无法彻底转向。

转向时驾驶员转动方向盘以改变前轮方向，此时轮胎就会向着前轮的朝向改变路线。同时，之前一直在推动汽车直线行驶的力仍在发挥作用。轮胎受到直行的力和转向的力的相互作用，会向两者的中间方向移动。

实际上，此时的轮胎是在直行方向和转向方向之间产生了“弯曲”。之所以会弯曲，是因为轮胎的触地面因橡胶的抓地力紧贴着路面，就

像把手掌压在桌子上一样。轮胎弯曲时会产生试图恢复原状的弹力，这种弹力进而成为侧偏力以抵抗离心力。

速度越慢，轮胎的弯曲程度越轻。当汽车缓慢行驶时离心力就不会发生作用了，这时只需改变轮胎方向就能实现汽车的转向。当汽车稍稍加快速度在时速30km~40km的情况下转向时，弯曲程度也很轻，但也需要超过离心力的侧偏力，利用弯曲产生侧偏力支撑汽车。

随着速度的加快，离心力也越来越大。直行的力和转向的力越大，轮胎的弯曲程度也就越重，从而能够产生更大的侧偏力抵抗离心力。

正是因为轮胎的变形，触地面上的弯曲才能产生侧偏力。并且，轮胎能够变形和弯曲，也是因为轮胎是由橡胶和纤维制成且内部充满了空气。

4.3 轮胎的抓地力支撑汽车

4.3.1 没有抓地力就无法转向

在上一节中我讲到，汽车即使提速到时速100km也能转向，是因为轮胎的触地面弯曲，产生了侧偏力。汽车在高速公路等曲率半径（弯道半径）大的转弯处（即缓弯）能够安全转向，这没什么问题。但在山路等曲率半径小的转弯处（即急弯）也能在时速100km下转向就有些不现实了。汽车可能会因无法彻底转向而跌落悬崖。那这是为什么呢？

转弯越急，速度越快，离心力越大，因此在转向时就需要足够大的侧偏力来抵抗离心力。之前我讲过，侧偏力是因弯曲而产生的，但

如果轮胎不紧抓路面，轮胎也就无法弯曲。我们把轮胎紧抓路面的力称为**抓地力**。抓地力越小，轮胎的弯曲程度就越小，也就意味着侧偏力越小。也就是说，为了产生抵抗离心力的侧偏力，必须加大抓地力。

然而抓地力也有极限。当离心力超过在抓地力限度内产生的侧偏力时，汽车就无法顺利转向。因此，除了转弯的急缓程度之外，汽车能否顺利转向也与轮胎的抓地力有关。

4.3.2 揭开抓地力的神秘面纱

之前为了介绍汽车转向的过程，我先讲解了转向系统、轮胎的结构以及因变形和弯曲产生的侧偏力。贸然提出轮胎的抓地力会影响这一过程的讲解，所以我就没有提及。

然而，汽车行驶、转向、停车的根本在于轮胎的抓地力，这些都是以轮胎紧抓路面为前提的。正是因为抓地力的存在，汽车才能依靠紧抓路面“作用力”的“反作用力”前进、转向、减速并停车。换句话说，如果没有抓地力，汽车就无法行驶、转向和停车。这是因为轮胎是汽车与路面的唯一触点，只有轮胎紧抓路面汽车才能行驶，并且汽车转向时轮胎的作用尤为重要。下面我就开始讲解轮胎的抓地力。

首先，什么是抓地力？之前我讲过，抓地力是轮胎紧抓路面的力。说得更具体一点，就是轮胎的橡胶牢牢抓住道路表面的力。抓地力产生于“橡胶的摩擦”、“轮胎的变形”和“橡胶的损耗”。

先从橡胶的摩擦说起吧。与铁制车轮或木制车轮不同，触摸轮胎的表面时，你会觉得有些黏。橡胶表面的黏性会和路面产生摩擦，生成紧抓路面的力。

抓地力也来自于因轮胎的弹力产生的变形。之前我讲过，轮胎的触地面会变形压瘪。轮胎正是借助这种变形紧抓路面并向后“驱赶”路面的。

气温越高，橡胶的黏性和弹力就越大，抓地力也随之增大。相反，气温越低，橡胶越硬，黏性和弹力也就越差，抓地力也越小。

抓地力还与轮胎的磨损有关。掰橡皮时橡皮会产生防止断裂的阻力。同样，轮胎的磨损就是紧贴路面的橡胶的损耗，此时发挥阻力就是抓地力。当然，轮胎橡胶的损耗是微乎其微的，因此在路上往往看不到散落的橡胶碎片。

如上所述，摩擦、变形和损耗三股力量综合起来才产生了抓地力。汽车转向时轮胎因抓地力而弯曲，从而产生侧偏力。且抓地力越大，与离心力相抵抗的侧偏力就越大，急转弯时也能快速转向。但是当离心力超出抓地力的极限时，汽车就会开始打滑，导致无法彻底转向。因此为了行驶安全，必须在考虑到汽车速度和转弯的急缓程度的同时，保证汽车在抓地力的限度内行驶。

4.3.3 轮胎的抓地力随路面状况发生变化

我们说轮胎的抓地力时，一般是以汽车在干燥的路面上行驶为前提的。但汽车并非只在干燥路面上行驶，路面状况改变时抓地力也会发生变化。

我们已经了解到，摩擦、变形和损耗三股力量综合起来才产生了轮胎的抓地力。其中影响较大的是摩擦和变形，两者会因路面状况的不同而变化。当给橡胶施加重量时，它会变形处于压瘪状态。这样一来，轮胎与路面更加贴合，摩擦变大，也就不容易打滑。我们穿的鞋，

橡胶底比皮制底更防滑。这是因为橡胶有弹力，更容易贴合路面，摩擦也就更大，并且胖人的鞋底与路面更贴合。然而橡胶鞋底也不是完全防滑的。例如，跑步时突然停止，在下过雨的人行道上奔跑，以及寒冬的早晨走在结冰的路上时，即使是橡胶鞋底也会打滑。

轮胎也是如此。当汽车在下过雨的道路、没有经过铺砌的沙土路或者冰雪路等容易打滑的路上行驶时，如果速度不是远低于在干燥路面上的行驶速度，轮胎就很容易打滑。并且如果不在转向时减速，就无法彻底转向。之所以容易打滑，是因为轮胎抓地力限度变小了。

4.3.4 把抓地力分配给行驶和转向

我们从抓地力的角度再来考虑一下汽车为什么能在缓弯时快速转向，而在急弯时必须降低速度。

之前我讲过，轮胎的抓地力不只是在转向时发挥作用，而是与汽车的行驶、转向和停车都有关。抓地力存在极限，因此需要调整并决定抓地力的分配是用于行驶、转向，还是分给减速。

能够表示抓地力分配方法的是**摩擦圆**，它表示占据了大部分抓地力的摩擦限度。虽然抓地力包含轮胎的摩擦、变形和损耗三大要素，但仅用表示摩擦限度的摩擦圆，就能显示出抓地力的整体倾向。

请看图 4.5 中左侧轮胎的摩擦圆，纵轴的上半部分展示了与汽车的驱动力相关的抓地力，下半部分展示了与汽车的减速力有关的抓地力。横轴表示转向时抵抗离心力的抓地力。

当汽车直线行驶时，抓地力用于加速或减速，其大小程度可以直至纵轴与摩擦圆的上下交点。当汽车在即将达到极限向右转向时，可

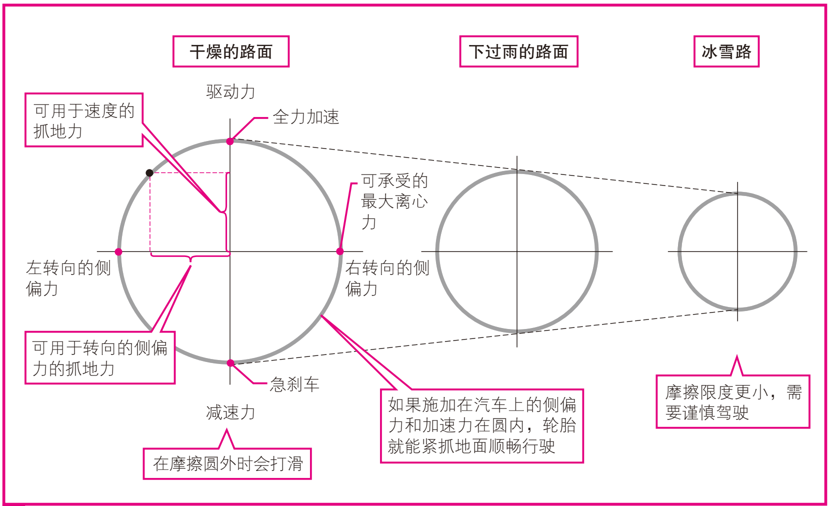


图4.5　轮胎的摩擦圆
表示轮胎的摩擦极限。路面状况的变化会引起摩擦圆大小的变化。

以将力增加到横轴与圆的右交点。但此时横轴上下方向的速度变成了0，汽车就走不动了。这当然是不现实的，因此在实际行驶中是不能把抓地力全都分配给抵抗离心力的力（侧偏力）的。

那么，既不在摩擦圆的横轴上也不在纵轴上是什么意思呢？我们假设圆周上 45 度倾斜处的黑点表示可以将抓地力同时用于行驶和转向的界限，它是指汽车在边转向边行驶时，抓地力分别用于速度和抵抗转向离心力的界限。通过决定靠近上半部分还是靠近左右部分，在行驶速度优先和抵抗转向离心力优先之间进行选择，以调整抓地力的分配。

高速行驶时，当靠近摩擦圆上半部分倾斜一些的位置时，抓地力优先用于速度，抵抗离心力较大部分的就所剩无几了。因此，此时只能在离心力较小的缓弯处顺利转向。

当靠近圆的横方向时，抓地力优先用于抵抗离心力，此时汽车即使在离心力很大的急转弯处也能顺利转向。但由于分配给速度的力很小，因此汽车只能缓慢行驶。

但如果轮胎超出了摩擦圆，就很容易打滑，汽车就可能飞离路面。以上都是汽车在即将达到极限时利用抓地力的情况，而平时汽车都是在远离极限的圆内侧行驶的，因此轮胎打滑造成交通事故的情况少之又少。

但当路面状况发生变化时，轮胎就会容易打滑。如在下过雨的道路、未经铺砌的沙土路和冬天的冰雪路上行驶时，抓地力的极限就会变小，如图 4.5 中右侧的摩擦圆。如果此时汽车的行驶速度还与在干燥路面上的行驶速度相同，就会超出摩擦圆所示的抓地力的限度。因此在容易打滑的路面上，无论是加速还是转向都要慎重。

4.3.5 抓地力的作用方法在前轮和后轮上有所不同

之前讲解抓地力时，我并没有区分前轮和后轮。但实际上，抓地力在前轮和后轮上的作用方法是不同的。

为了使你容易理解汽车的基础知识，本书是以只将驱动力传递到后轮的前置后驱车（FR）为例进行讲解的。在前置后驱的汽车中，发动机的旋转被传递至后轮，驱动力也只在后轮轮胎上发挥作用。与前轮相比，后轮在摩擦圆上下方向上耗费的力更大。例如当汽车以接近抓地力极限的高速行驶时，如果驾驶员突然踩下加速踏板，将更大的驱动力传递至轮胎，后轮承受的力就会超出摩擦圆。在急加速等情况下，轮胎的空转就是这种状态。

当然了，前置后驱车的前轮也会在摩擦圆的上下方向上耗费一定

的力。这是因为前轮虽然只是在旋转，但它会因后轮的驱动力与车身一起向前移动。正是因为向前的驱动力发挥作用，前轮才会在摩擦圆的上下方向上耗费力。

汽车加速时，后轮耗费了很大的驱动力，此时前轮上还残留着一部分抓地力，但后轮上的抓地力已经基本没有了。虽然速度不是很快，但由于加速时要耗费很大的驱动力，抓地力也就所剩无几了。

因此，当驾驶员在转向时突然大幅踩下加速踏板，会瞬间增大后轮的驱动力，导致后轮轮胎超出抓地力的极限横向打滑。此时汽车会因后轮的横向打滑像陀螺一样开始旋转，虽然不像无法彻底转向时那样会飞离路面，但最终也会导致汽车偏离道路。

4.3.6 前置前驱和前置后驱利用抓地力的方法

前置前驱车（FF）和 4 轮驱动车（4WD）两种车型是给前轮追加驱动力，因此如何在摩擦圆中分配使用抓地力就变得更加复杂。

大部分汽车都是前置前驱车。发动机的旋转力传递至前轮，由前轮接受驱动力驱动汽车前进。并且驾驶员能够通过操作方向盘改变前轮的方向，实现汽车的转向，后轮只跟随汽车行驶。

前轮在前置前驱车中的作用要大于其在前置后驱车中的作用。前置前驱车中的前轮身兼数职，例如支撑汽车的重量，转向时改变方向，利用轮胎触地面的弯曲产生侧偏力，借助驱动力驱动汽车等。

读到这里你大概会担心：轮胎的抓地力是有限的，前置前驱车的前轮能够承担这么多角色吗？它比起前置后驱车会更快地超出抓地力极限，不就会打滑了吗？

在寻找答案之前，你可以先回想一下橡胶的特性。把橡胶底的鞋单独放在倾斜的木板上时，鞋会从某处滑下，而出乎意料的是当人穿着鞋站在同一块倾斜的木板上时就不会往下滑。这是因为给橡胶加重时会增加橡胶的贴合力，也就意味着抓地力增大了。

在前置前驱车中，汽车前端的发动机周围聚集了加速器和差速器等动力传动装置，这就给前轮轮胎施加了很大的重量。前轮轮胎的抓地力因此增大，即使增加了控制方向和驱动汽车的负担，也能够安全转向。

然而正如我在第 2 章介绍飞轮时讲过的那样，重物一旦开始运动就很难停止。这一基本原则也适用于轮胎的抓地力。

在前置前驱车中，当承受着巨大重量的前轮轮胎超过了抓地力的极限开始打滑时，往往无法停止。因此前置前驱车很容易因速度过快而无法正常行驶。所以，注意轮胎的抓地力极限，保证汽车在安全的速度内行驶是至关重要的。

那么 4 轮驱动车又是怎样的呢？在 4 轮驱动车中，发动机的旋转力被平均分配到前后轮。前置前驱车的前轮承受着巨大负担，但在 4 轮驱动车中前轮的负担减轻了。由于 4 轮驱动车是同时借助前后轮胎保证汽车平稳前进的，因此也就能均衡分配轮胎的抓地力。

4 轮驱动车之所以在易打滑的未经铺砌的道路上威力十足，就是因为驱动汽车的力不是作用在前轮或后轮的任意一方，而是能够利用四个轮子的轮胎抓地力。

目前的市售车中，绝大部分仍是前置前驱车。这是因为将功能集中于前轮的汽车更容易生产，且易于提高汽车的便利性（如增大驾驶室

空间等)。然而，前置前驱车将功能集中于前轮，致使装置变得复杂，结构难以理解。本书旨在帮助你理解汽车的基础知识，因此是以将功能分散至前轮和后轮的前置后驱车（FR）为例的。

4.3.7 如何增大轮胎的抓地力

轮胎的抓地力越大，越能安全快速地行驶和转向。那么，怎样才能增大轮胎的抓地力呢?

实际上很简单，只要使用黏性强、摩擦大、弹力大、易变性强的橡胶与路面接触就可以了。简单说来，就是使用柔软的、发黏的橡胶。摩擦大、黏性强的橡胶抵抗损耗的力也很大，因此能够增大抓地力。

并且，通过增大轮胎的触地面，相应地也能够增大产生抓地力的面积。比赛用的轮胎都很宽，就是为了增加触地面积。增大触地面，就能增大抵抗离心力的抓地力，也就能使汽车在速度快的情况下安全转向。触地面的面积横向扩展，相应地就能在转向时支撑住汽车。

卡车和公共汽车的轮胎没有那么宽，但直径很大。这是因为轮胎长长的触地面能够在前进方向上将驱动力稳定地传递到路面，它们才能在载满重物和人的情况下依然安全地前进和加速。

但所有的事物都利弊兼具。使用很小的力就能伸展的柔软橡胶，在达到伸展极限后就很容易磨损，从而缩短轮胎的寿命。

而且，宽度大和直径大的轮胎较重，很容易在凹凸不平的路面上上下颠簸，也就降低了乘坐的舒适度。在第 2 章介绍飞轮时我讲过，重物很难开始运动，但一旦开始就很难停止。较重的轮胎受凹凸路面的影响开始强烈颠簸后，其振动就很难停止了。

比赛用的宽轮胎由高价材料制成，质地轻薄。但它比市售轮胎贵几倍，且损耗很快，在比赛中用过一次就没法再用了。对于普通的小型汽车来说，轮胎生产商的任务就是不断研究轮胎的材料和结构，设计出软硬适度、尺寸不大但能产生强大抓地力的轮胎。

4.4 差速器用于调整左右转速

4.4.1 转向时里侧转速慢，外侧转速快

关于轮胎的讲解到这里就告一段落了。下面我想介绍一下作用于前置后驱车后轮上的差速器装置[①]。

汽车转向时，前置后驱车的后轮跟在能够改变方向的前轮后面，它无法像前轮一样变向至转向方向，通常是保持直线行驶。在这种情况下汽车仍能顺利转向，就是因为配备了**差速器**装置。

如果说在汽车转向时最重要的装置是转向装置，那么差速器则是次重要的装置。假如没有差速器，驾驶员绕的弯就比预想的大，也就无法顺利转向。

日语中把差速器称为**差动装置**，但其含义很难解释。差动一词来自于“改变左右车轮的转速使其有所差别”这一功能。在汽车转向时，差速器用于改变左右车轮的转速，使里侧转速慢，外侧转速快。

在第 3 章中我讲过，差速器具有将发动机的旋转力转化为驱动力并均匀传递至左右车轮的功能。差速器的伟大之处就在于它能够担任

① 差速器设置在车轮上。在前置前驱车中它位于前轮，在 4 轮驱动车中前轮和后轮都有。

两个角色。

4.4.2 四个伞齿轮吸收左右的转速差

接下来我将详细解释这一装置是如何改变左右转速的。这一部分有些复杂，如果你觉得难可以直接跳过不读。你只需记住：正是因为差速器上有差动的结构，汽车才能顺利转向，也能在转向的同时加速。

首先，大前提是左右驱动轮并不是由 1 根车轴连在一起的。差速器位于左右驱动轮之间，组合了几个齿轮，并将发动机的旋转力传递到左右轮胎。通过改变差速器上齿轮的啮合和组合，起到传递驱动力和差动的作用。

在第 3 章中我讲过，发动机的旋转力经由万向节传递至差速器（照片 4.2）。万向节的前端有**伞齿轮**，旋转力从伞齿轮传递到差速器的大齿轮——**内齿圈**上（图 4.6）。



照片4.2　差速器的一种
照片由加特可提供

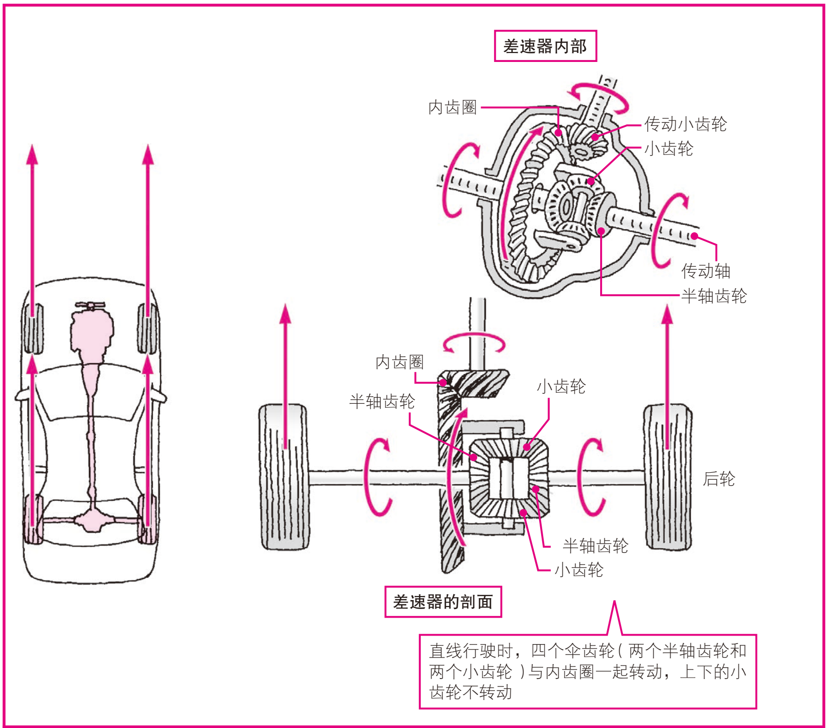


图4.6　直线行驶时差速器的状态
上下的小齿轮不转动

在差速器中，四个伞齿轮面对面互相啮合。其中，上下两个是**小齿轮**，左右两个是**半轴齿轮**。

当汽车直线行驶时，差速器内的整个齿轮组合（小齿轮和半轴齿轮）与内圈齿轮一起转动，将发动机的旋转力均匀传递到左右车轮。

当汽车开始转向时，在内齿圈上的齿轮中，左右的半轴齿轮的转速开始变化。这是因为转向时内侧轮胎的转速与外侧轮胎的转速不同。

驾驶员转动方向盘改变了前轮的方向，当汽车接近转角处时，后

轮不得不跟随前轮，左右轮胎一起沿着转角转动。此时内侧车轮和外侧车轮的转动半径不同，内侧车轮转小弯，外侧车轮转大弯，这就导致了左右车轮的转速是不同的。

左右车轮转速的不同传递到了与半轴齿轮垂直啮合的小齿轮上。正是因为左右（内外）车轮转速不同，才使得上下的小齿轮开始互相逆向转动（图 4.7），或者说“被迫开始逆向转动”。这样一来，差速器就吸收了左右车轮的转速差。

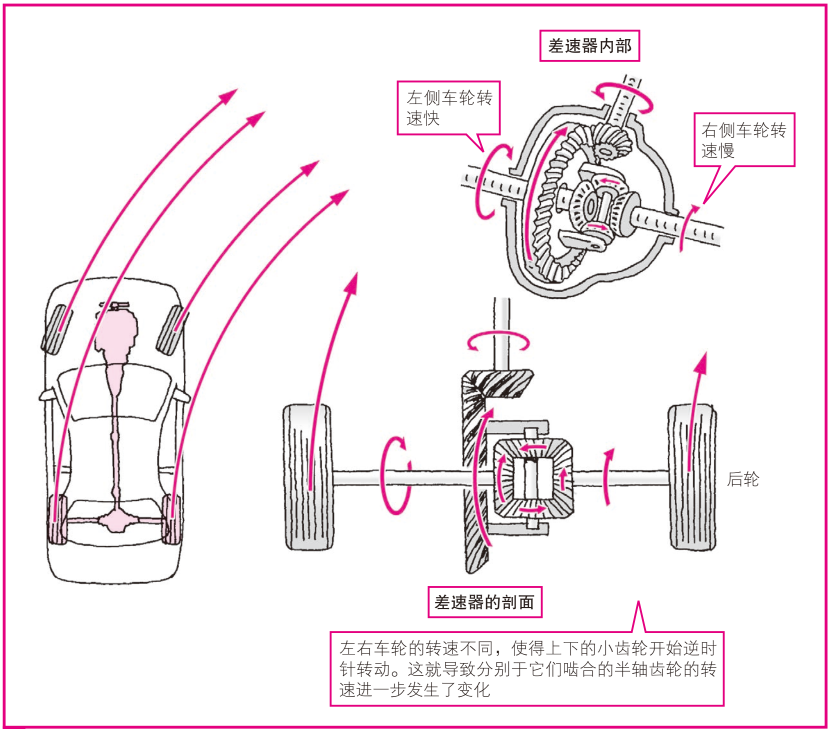


图4.7　右转向时差速器的状态
左右车轮的移动距离不同使得上下的小齿轮开始转动。右侧车轮转速慢，左侧车轮转速快。

小齿轮一边上下逆时针旋转（自转），一边与内齿圈一起公转。因为是在进行公转，所以发动机的旋转力，即驱动汽车前进的力仍能传递到左右车轮。当汽车直线行驶时，小齿轮不转动（自转），只公转。

虽然在转向时内外车轮的转速不同，但推动汽车前进的力仍能均匀地传递到左右车轮。这样一来，帮助汽车顺利转向的差动功能就实现了。你明白了吗？

如果没有差速器的差动功能，负责将驱动力传递到路面的后轮只能一直以左右相同的转速向前行驶。即使前轮改变了方向，后轮也会继续推动汽车直线行驶，使驾驶员在转向时绕一个比预想大很多的弯，也就无法顺利转向[①]。差速器的差速功能是由发明了汽车的卡尔•本茨想出来的。

4.5 利用悬架调整车体的倾斜度

4.5.1 转向时悬架受力，车身倾斜

之前我们已经了解了转向时所需的汽车的要素，接下来我想讲解一下转向时汽车车身的状态。众所周知，转向时汽车的车身倾斜，偏向转角的外侧，用专业术语表述就是车身在**横滚**。那么汽车为什么会横滚呢？

这是因为汽车在转向时，侧偏力（之前介绍过）作用于轮胎，影响也波及到了汽车的**悬架**（图 4.8）。转向时离心力面向汽车外侧发挥作用，它能够产生使汽车的重心在中心徘徊的力（旋转力量），在其影响下悬架伸缩，车身向外侧横滚。

① 如果你想不使用差动而是想随心所欲地转向，还可以用一种叫做漂移行驶的方法。本章的专栏会介绍这个方法。

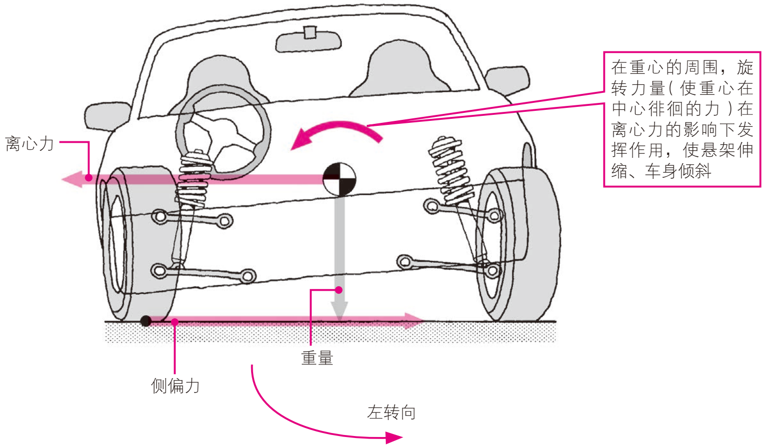


图4.8　转向时车身倾斜
旋转力量发生作用，致使悬架伸缩。

悬架位于轮胎和车身之间，能伸能缩。它能够缓和路面凹凸的影响，提高汽车的乘坐舒适度。suspension 翻译成中文是**悬架装置**，其实这个名字反而不好理解。

稍微离点题，说一下没有悬架的汽车。没有安装悬架的汽车就像游乐园里的玩具汽车，是最简单、最原始的汽车。玩具汽车具备发动机、动力传动系、转向系统、作为骨骼的车架（相当于车身）、轮胎和制动器，也能行驶、转向和停车。没有悬架，汽车也能跑。

但正是因为没有悬架，因路面凹凸引起的振动会通过车架或车身直接传递到乘客身上。乘坐玩具汽车时，乘客甚至会感到连眼球都在上下振动。

普通的自行车一般不会配备悬架，但近年来一些高价的自行车上也安装了悬架。你会发现，比起普通的自行车，配备了悬架的山地自

行车乘坐舒适度更高。

同样，汽车安装了悬架，就能缓和由道路引起的振动，提高乘坐舒适度。在接下来的第 5 章中我还会详细讲解汽车的舒适性，这里就先跳过了。接下来，我想集中讲一下悬架的结构和它在转向时的状态。

4.5.2 利用弹簧、减震器和稳定器缓和振动

悬架由**弹簧**、**减震器**、**稳定器**、**悬架摆臂**和**衬套**组成（图 4.9）。其中，弹簧、减震器和稳定器负责在转向时调整车身的倾斜程度。

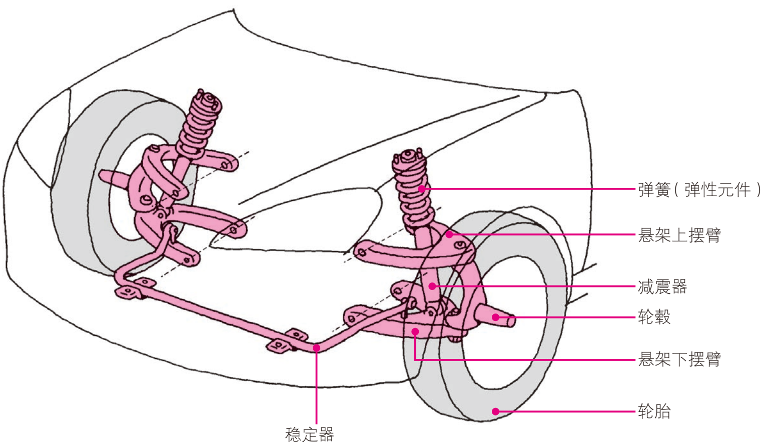


图4.9　悬架的结构

弹簧中除了有旋涡状的螺旋弹簧外，还有重叠了若干弹簧片的钢板弹簧。无论哪一种弹簧都有弹性，都能通过伸缩来缓和振动。由于日常生活中有很多如沙发坐垫等使用弹簧的物品，我们也就很容易理解弹簧的作用了。

弹簧虽能缓和振动，但要停止振动需要一定的时间。如果在这次振动停止前又施加第二次振动，振动就会变得不规则，或者成倍增加。这样一来，汽车就很难平稳行驶。实际驾驶时，你肯定觉得汽车不振动时比较平稳，能安心驾驶，汽车也不容易左摇右晃。

因此就需要用到边缓和来自路面的振动边迅速吸收振动的**减震器**（也叫**缓冲器**）。

在减震器内部，有加入油液的汽缸和开有窄小的孔隙的活塞。弹簧的振动带动活塞上下运动，其中的油液会穿过活塞的孔隙。孔隙窄小，产生阻力，就能迅速缓和弹簧的振动（图 4.10）。

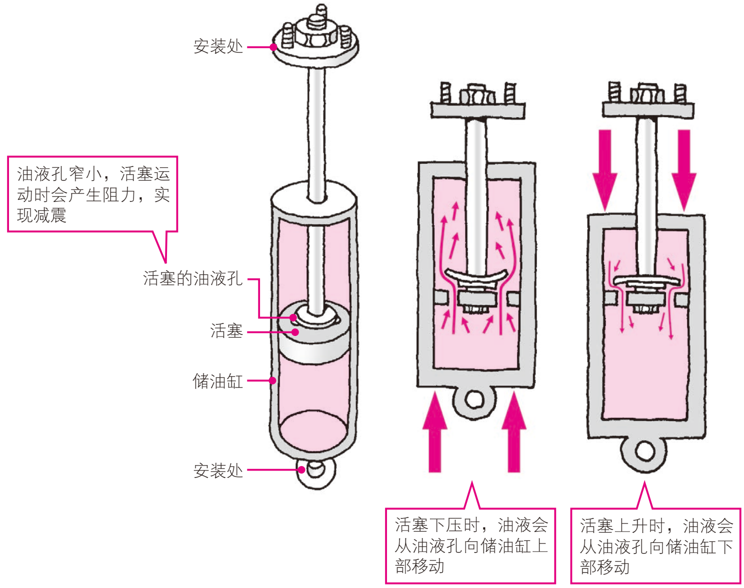


图4.10　减震器的结构
活塞下压时油液会从小孔喷出

然而，要平衡弹簧的硬度和减震器的振动吸收性（减震）是相当困难的。如果弹簧过硬，减震器的减震效果过强，就无法充分缓和道路凹凸的影响。相反地，如果弹簧过软，减震器的减震效果过弱，振动就会“经久不息”。

这一平衡在转向时就更难实现了。转向时，弹簧和减震器也有抑制车身倾斜（横滚）的作用。为抑制横滚所做的功越多，弹簧和减震器间的平衡就越复杂，调整起来也更加困难。这时就要用到**稳定器**。

稳定器只有一个作用，就是在转向时抑制车身的倾斜。它仅由一根铁棒构成，两端连在左右悬架上（图 4.11）。

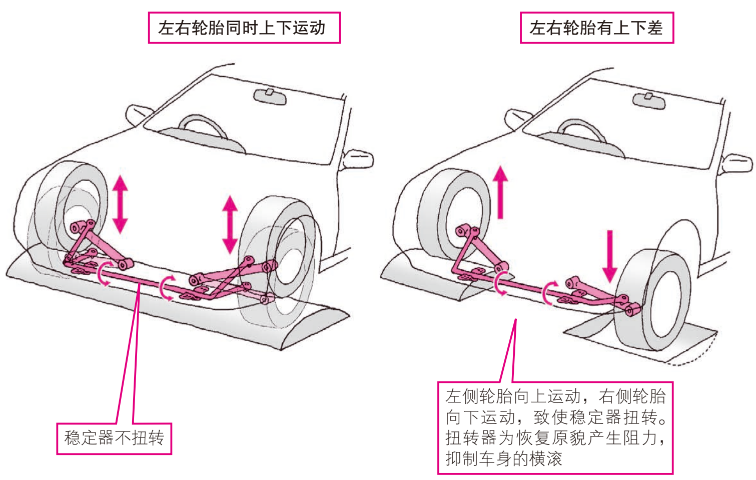


图4.11 稳定器的结构
当左右轮胎有上下差时，稳定器就会扭转，抑制车身的横滚。

当汽车直线行驶时，稳定器“保持沉默”。当左右轮胎越过路面的

凹凸处时，稳定器只是随着左右悬架的运动上下运动。但当汽车开始转向、车身即将倾斜时，稳定器就登场了。在转弯处车身倾斜时，左右悬架上下反向运动。这是因为转弯处外侧的悬架在收缩，内侧的悬架在扩展。这样一来，稳定器这根铁棒就发生了扭转，借助其阻力抑制车身的横滚。

依靠稳定器，弹簧和减震器能够集中缓和因路面凹凸不平引起的振动。但实际上，弹簧、减震器和稳定器并没有明确的分工。汽车生产商们都试图实现它们的联合，使这三者共同发挥作用。

4.5.3 恰到好处的车身倾斜能够增大抓地力

为了能够顺利转向，在转弯处调整好车身的倾斜程度是十分重要的。恰到好处的车身倾斜会增大轮胎的抓地力，使汽车易于转向。

车身在转角处倾斜，使得汽车的重量偏向里侧的轮胎。因为此时汽车的重量在向里偏移，所以我们称之为**负重转移**。

与此相同，人在倾斜身体的时候体重也会向倾斜的方向偏移。对于此时的汽车来说，里侧的轮胎承受了更多的车身重量，抓地力也就增大了。也就是说，由于承受了更多的车身重量，里侧的轮胎更能够紧抓地面、支撑汽车。之前我讲过，与只把橡胶底的鞋单独放在斜坡上相比，人穿上鞋、给鞋施加体重后更不容易打滑。两者同理。

虽说如此，但车身也不能过度倾斜。这是因为车身的过度倾斜可能会使外侧的轮胎悬起来。看到这里，可能你就会纳闷，如果会发生这样的情况，那汽车的其他轮子都有什么作用呢？为什么会有四个轮子呢？

外侧的轮胎会悬起，这是因为当车身过度倾斜时，里侧的轮胎会产生很大的变形。轮胎一变形，车身重量就仅仅集中在了轮胎触地面的外围，使得轮胎的触地面发生偏移，面积变小。触地面积越小，抓地力也就越小，即轮胎不再能够紧抓地面。人的脚也是一样，利用脚腕用整个脚掌支撑身体时，力量更强大。

4.5.4 转向时轮胎依然直立

你可以想象一下，车身在转角处横滚时，轮胎处于怎样的状态呢？你是不是觉得它们也在和车身一起倾斜呢？

转向时如果轮胎倾斜，其触地面也会发生偏移，使得轮胎与路面的接触面积变小。这样一来，抓地力减小，轮胎抵抗离心力、支撑汽车的力量也会减弱。而为了能够快速安全地转向，我们都不希望抓地力减小。因此最理想的状态就是，转向时仅汽车车身倾斜，而轮胎仍垂直于路面。尤其是希望里侧的轮胎保持垂直状态，因为在转弯处车身横滚时，里侧轮胎承受了很大的负担。

悬架摆臂就实现了我们的愿望。它由铁棒和铁柱组成，连接车身和轮胎。最近还出现了使用比铁轻的铝等材料制成的悬架摆臂。

悬架摆臂有多种配置方式，这里我就以由上下两根铁棒支撑的**双叉式**为例，介绍转向时轮胎仍能直立的原理。这是因为双叉式分工明确，易于理解悬架的原理。此外还有连杆支柱式和多连杆式。

在装有轮胎的轮毂（车轴）上，上下各有一个悬架摆臂（图 4.12）。仔细观察双叉式就会发现，其上下摆臂的长度不同。当车身倾斜时，正是这对长度不同的上下摆臂使轮胎直立。

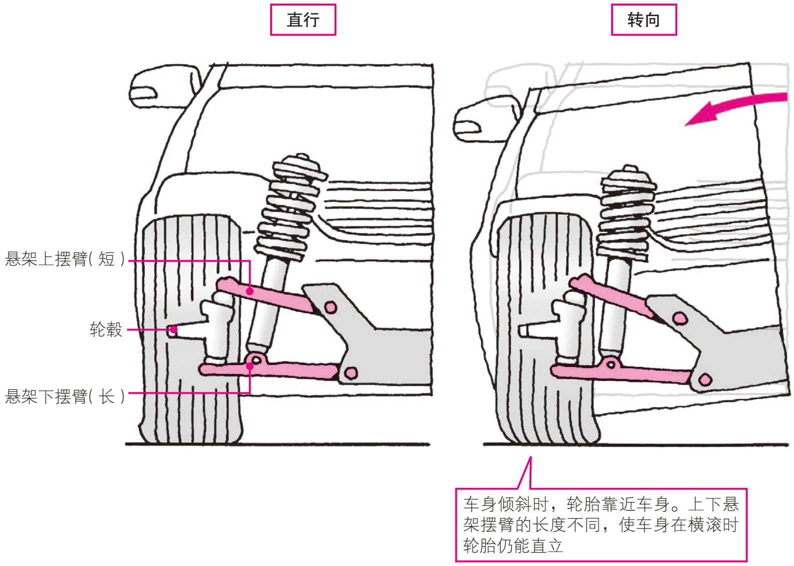


图4.12　悬架摆臂与横滚的关系
上下悬架摆臂的长度不同，使车身在横滚时轮胎仍能直立。

你可以以悬架的运动为中心，考虑一下汽车车身向里侧倾斜的状态。当车身倾斜时，里侧的轮胎靠近车身，而外侧的轮胎远离车身。如果换个视角从悬架看的话，就会发现里侧的轮胎向上移动，而外侧的轮胎向下移动。

轮胎的上下移动进一步加大了上下悬架摆臂的长度差。由于上下摆臂的转动轨迹不同，装有轮胎的轮毂角度也就不同。

让我们来看一下摆臂的轨迹是如何变化的（图 4.13）。你可以把图中的两个大小不同的圆的半径分别看作上下悬架摆臂的长度。在转角处轮胎上下移动时，两个悬架摆臂也上下移动了相同的距离。但由于两个圆的半径不同，它们的横向移动量也就不同了。这就使得连接悬架摆

臂的线的角度发生了变化，即轮毂的角度发生了变化，轮胎就倾斜了。

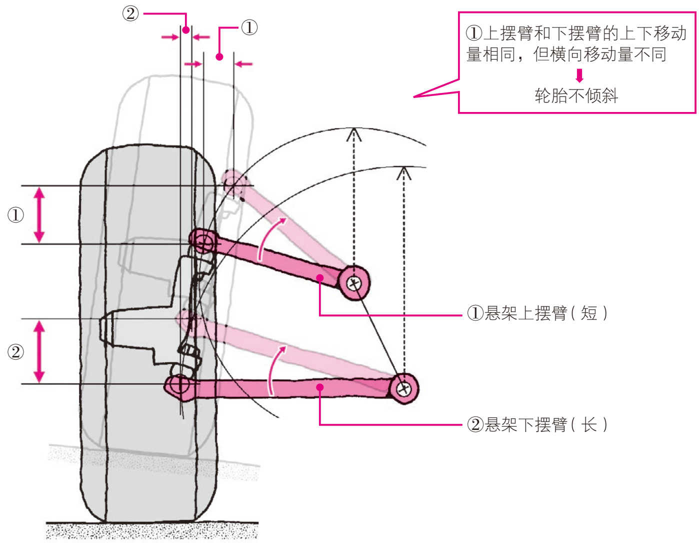


图4.13　上下悬架摆臂的轨迹
上摆臂的轨迹是半径小的圆，下摆臂的轨迹是半径大的圆。上下移动距离相同，但横向移动距离不同，使得轮胎能够直立。

回看一下我们会发现，悬架摆臂处于倾斜状态。如果调整轮胎角度（从倾斜的悬架摆臂看）和路面的关系，我们从外界就能看到轮胎处于与地面垂直的状态。如何设定上下悬架摆臂的长度，以使在转弯处汽车车身倾斜时，里侧的轮胎仍与路面垂直，就是悬架设计者的工作。

你可以观察一下正在转向的汽车轮胎。如果里侧的轮胎与路面垂直，那么这辆汽车就能平稳地转向，也就是一辆具备了优秀操作系统、性能稳定的汽车。相反，如果你看到汽车在转向时轮胎与路面之间有斜角，那么就可以说这辆汽车在转向时缺乏稳定性。

4.5.5 转向时轮胎的触地面发生变形

之所以在转向时轮胎仍能垂直于路面，就是因为增加轮胎的触地面能够增大抓地力。但实际上，轮胎的变形会减小其触地面积。

在本章的开头我讲过，轮胎是由橡胶和纤维等易变形的材料制成的。轮胎的触地面会因变形而变得平坦。同样，转向时轮胎也会因离心力横向变形，使得轮胎触地面的形状和面积发生变化（图 4.14）。

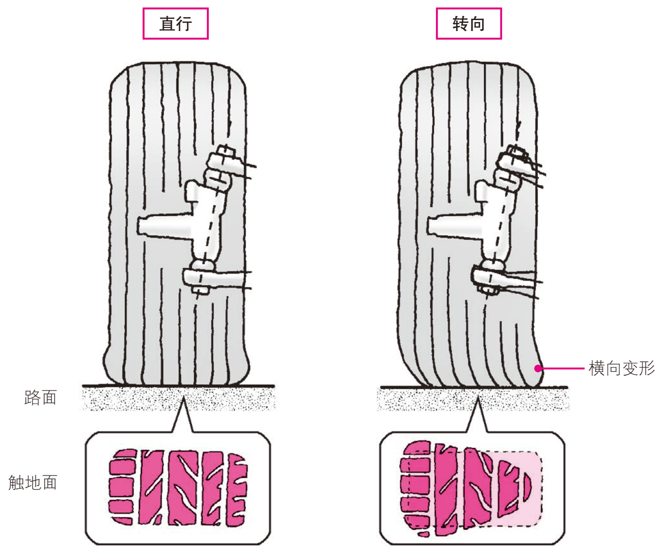


图4.14　悬架摇臂与横滚的关系
直行和转向时变形的方向不同，触地面的形状也会发生变化。

虽然轮胎多少有些差异，但汽车停止和直行时，轮胎触地面的形状大体上都是四边形。如果在实验中将路面的一部分换成玻璃，从玻璃下方观察轮胎通过时的情形就很容易发现这一点。

转向时四边形的轮胎触地面会横向变形，形成三角形。仅看从四边形到三角形的变化，也能理解触地面积的减小。

触地面减小，相应的抓地力也会减小。因此在即将转向时就必须降低车速，防止离心力过大。转向时车身倾斜，由于负重转移，车身重量会集中在里侧轮胎上，增大抓地力。但当触地面积减小时，抓地力的限度也会相应地变小。

转向时，如果整个轮胎都倾斜，其触地面的变形程度就会增大，轮胎的触地状态就会变差，从而导致抓地力大幅减小。

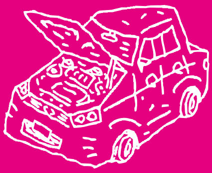
4.5.6 为不改变触地面的形状而努力

如果转向时车身过度倾斜，轮胎触地面的形状就会从四边形变成三角形，这会导致抓地力减小。因此在赛车比赛中，车身在转向时几乎不倾斜。

在小型汽车领域，汽车生产商们也在进行技术开发，旨在防止轮胎触地面的形状发生太大的变化。其中之一是将轮胎设计成左右不对称的形状。我们都知道，轮胎左右形状对称早已约定俗成。但最近出现的轮胎里侧和外侧的变形方式不同，呈现左右不对称的形状。这就使得汽车在转向时即使车身倾斜，触地面也很难发生变化。这样一来，转向时轮胎抓地力的减小幅度就不会很大，汽车就能以更快的速度平稳转向。

Column

汽车辟谣



真敢侧滑轮胎来驾驶汽车吗?

记者：你知道漂移吗?

编辑：碇矢长介的漂流者[1]? 你竟然还有时间开玩笑!

记者：……

编辑：怎么了? 生气啦? 真不懂幽默。好了好了，接着说吧。

记者：漂移是指故意让轮胎侧滑着转向的驾驶技术。

编辑：你不是刚讲了汽车要在轮胎的抓地力极限内转向吗?

记者：大体上是这样的。

编辑：再说了，轮胎侧滑不是很危险吗?

记者：所以说漂移是高难度的驾驶技巧嘛。

编辑：咦，那我也行吗?

记者：这个嘛，如果多加练习的话，说不定……

编辑：你怎么老是装模作样的啊! 那究竟如何漂移啊?

记者：急转向时故意让后轮侧滑，就能像旋转一样迅速改变汽车的方向。

编辑：那不就要发生事故了吗?

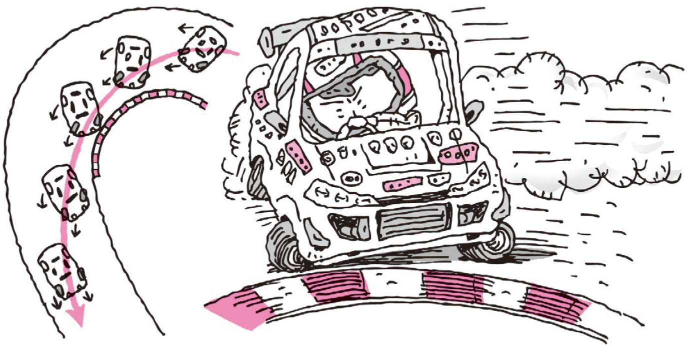
记者：所以啊，为了防止发生事故，漂移必须要有很强的驾驶技术啊。

编辑：确实挺难的。怎样才能做到呢?

记者：轮胎的抓地力有个极限。以前置后驱车(FR)为例，当驾驶员用力踩下加速踏板时，汽车就会处于急加速状态，超过了抓地力的极限。并且驾驶员会迅速

---

① 由碇矢长介、志村健、加藤茶等人组成的团体 The Drifters。从综艺节目《8点! 全员集合》中发迹，在屏幕上搞笑，深受日本观众欢迎。——译者注



将方向盘转至预定的转向方向。

编辑：驾校可是教过我们不能急加速也不能急转向的啊。那样驾驶很危险。

记者：你先听我说啊。在汽车向预定方向转向的同时，后轮会发生侧滑，汽车就会像旋转一样突然改变方向。此时就要迅速向反方向转动方向盘。

编辑：那不就是反向操作吗？

记者：是啊，反向操作能防止汽车旋转，使汽车正确地向前进方向转向。

编辑：反向操作的时机很难掌握吗？

记者：确实如此。如果反向操作失败了，汽车就会旋转。

编辑：轮胎的侧滑程度和反向操作状态的调节都很难控制吗？

记者：你懂得真多。

编辑：别小瞧我。

记者：漂移是在瞬间超过轮胎的抓地力极限时进行反向操作，并调整踩下加速踏板的程度，在汽车刚要完成转向时恢复抓地力。

编辑：这要是在公路上的话是很危险的。

记者：对啊。漂移是用在赛车和拉力赛中的驾驶技术。如今还专门为汽车漂移举办了 D1 大奖赛，成为日本乃至全世界的新型汽车赛事。

编辑：年轻人一定很向往这个比赛啊。

记者：如何充分利用抓地力，如何迅速改变汽车方向，是评判驾驶技术高低的标准，而漂移正是高水平驾驶技术的代表。

第5章

停车

——制动器将速度转化为摩擦热

热身问答

阅读正文前，让我们先回答下面的问题来热热身吧。

问题

以时速 100km 行驶的汽车如果紧急制动，在停车前还要前进多少米（m）？

1. 100m
2. 50m
3. 25m

答案

2. 50m

解析

如果时速是 100km，通常在停车前还要再前进 50m。但也会因轮胎的状态（全新的还是已经磨损的）、轮胎的品牌和路面状况（经过铺砌的路还是未经铺砌的路，晴天、雨天还是雪天）的差异而不同。

50m 也包含了驾驶员从踩着加速踏板到踩下制动踏板之间汽车的空走距离。当时速为 100km 时，空走距离大约为 20m。因此以时速 100km 的速度行驶在高速公路上时，要留出 100m 的车距。

本章重点

在第 5 章中，我将依序讲解行驶中的汽车是如何减速停车的。当驾驶员松开加速踏板时，汽车的速度就会逐渐降低。踩下制动踏板时，汽车会降低速度，直至停止。为了让重达 1 吨的汽车平稳停止，除了制动器以外还要用到其他装置。我将详细讲解这些装置。

本章看点

（1）使汽车停止的制动器的结构

汽车因制动装置产生摩擦，又将摩擦这一抵抗力产生的热释放到空气中，从而降低速度，即把用于行驶的能量释放到空气中。我将详细解释制动器的结构。

（2）制动器的助力

仅用右脚踩下制动踏板，就能使重达 1 吨的汽车停下。为了用很小的力使汽车平稳停止，制动器还运用了杠杆原理。我会介绍这些方法。

（3）轮胎迫使汽车停止

轮胎的抓地力对制动器的意义十分重大。并且如果轮胎不转动，汽车就不会停止而是滑行。我将解释轮胎在停车时的作用。

（4）除制动器之外的减速装置

我将介绍常见的制动系统之外的特殊制动方法，如利用发动机制动进行减速和使用降落伞停车等。

5.1 负责让汽车停止的制动器的结构

5.1.1 松开加速踏板时速度会因摩擦而降低

想停车时大家会怎么做?

想停车，就制动，这是人尽皆知的。但请你再回想一下自己开车时的情景。

当红灯亮起时，你肯定是先松开加速踏板吧。接着汽车的速度慢慢降低，这时汽车就开始减速了。

之所以松开加速踏板就可以减速，是因为汽车中有各种阻力在发挥作用。行驶时发动机的旋转力战胜了阻力，而当驾驶员松开加速踏板时，汽车会因阻力逐渐减速，即使不踩制动踏板最终也会停止。因此在本章中，我会先讲解作用于汽车的阻力，再介绍制动装置。

那么汽车中究竟有哪些阻力呢?汽车中的阻力存在于发动机、变速器、轮胎以及车身等很多地方。在发动机中，汽缸内的活塞上下运动时就会产生摩擦阻力。在变速器中，当齿轮啮合转动时，锯齿和锯齿的接触部分也会产生摩擦阻力。

轮胎表面的橡胶和路面之间会产生摩擦，转化成驱动汽车前进的抓地力。在抓地力的帮助下，轮胎不会空转，而是推动汽车前进。但抓地力毕竟是阻力，因此没有了发动机的旋转力，汽车就会减速。

阻力不只是由摩擦引起的，汽车在行驶过程中还会有**空气阻力**作用于车身，其大小为速度的 2 倍。也就是说，当速度增加为原来的 2 倍时，空气阻力就会增加到原来的 4 倍。速度越快，空气阻力的影响就越大。

汽车能够正常行驶是因为发动机的力战胜了这些阻力。而当驾驶员松开右脚踩住的加速踏板时，发动机的旋转力就会减弱，速度也就下降了。

但如果任由阻力发挥作用，汽车就会在停止前还要行驶很长一段距离。因此为了在十字路口的信号灯前平稳停车，还是要踩下制动踏板，使汽车在短时间内停止。制动装置是通过主动增加作用于汽车的阻力强制停车的。

5.1.2 踩下制动踏板时制动液会传递力量

下面我们就来看一下踩下制动踏板时是如何增加阻力使汽车停止的。

当驾驶员踩下**制动踏板**时，制动踏板的移动会传递到安装在发动机室内部的**制动主缸**中（图 5.1）。制动主缸中有活塞，当驾驶员踩下制动踏板时活塞就会运动，挤出液压缸中的**制动液**。

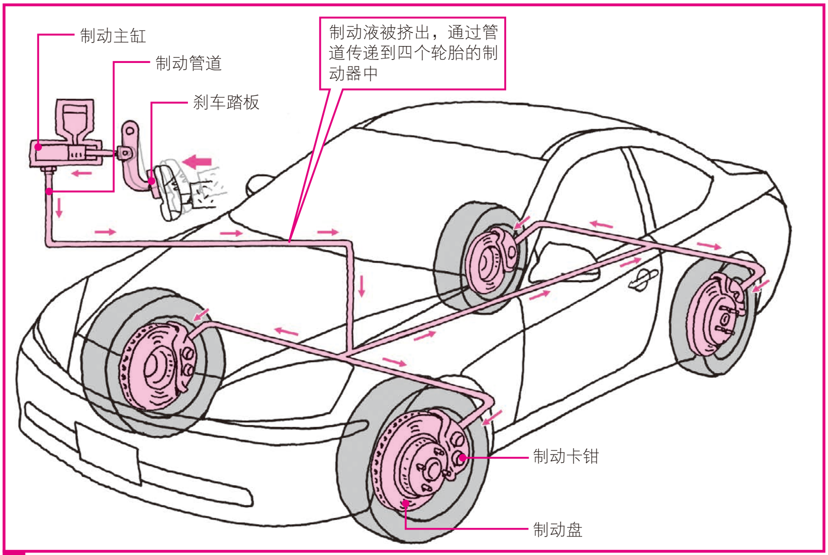


图5.1　制动系统的结构

下压被挤出的制动液的力，经由制动主缸前端的**制动管道**传递到四个轮胎。轮胎的内侧安装了制动装置，由**制动卡钳**、**制动垫**和**制动盘**构成，负责传递制动液下压的力（图 5.2）。我们把这种制动装置称为**盘式制动器**（照片 5.1）。

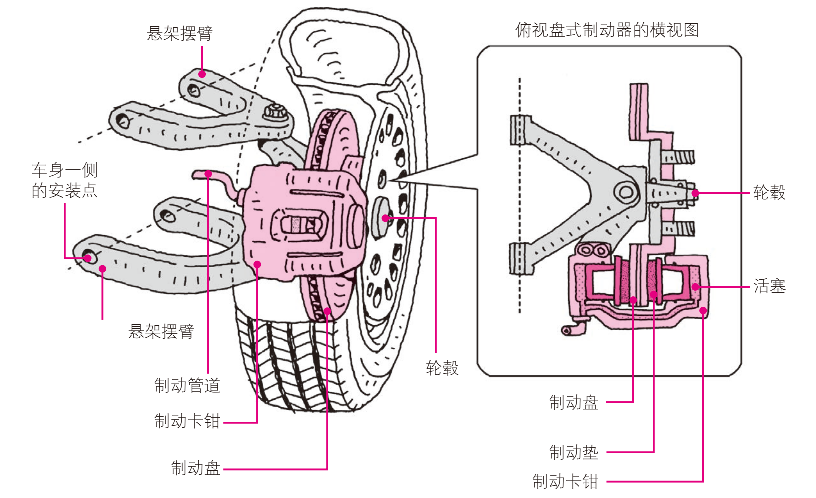


图5.2　盘式制动装置的结构
制动卡钳夹住盘式制动器，制动卡钳内部有制动垫。当制动管道内的制动液受压时，卡钳内的活塞就会下压，使制动垫压住制动盘实施制动。



照片5.1　一种盘式制动器
照片由丰田汽车提供

制动液把踩下制动踏板的力传递到制动卡钳内的活塞上，活塞借助这一力量上下运动，下压制动垫，受压的制动垫附着在制动盘上。

制动盘上有装有轮胎的轮毂。也就是说，当利用制动垫夹住制动盘使其停止转动时，轮胎也同样停止了转动。

实际上，制动装置是在制动盘左右安装了制动垫，利用左右的制动垫夹住制动盘。当驾驶员轻踩制动踏板时，制动垫就会轻轻地附着在制动盘上。而当驾驶员用力踩下制动踏板时，制动垫就会紧贴在制动盘上。这样一来就能调整制动的强度。

四个轮胎的内侧均配备了制动装置，这样就能使汽车平稳安全地减速。即使是自行车，比起仅在前后轮中的其中一个装上制动，前后轮同时制动更加安全。

不仅是汽车，自行车、火车以及飞机等交通工具的制动装置也都是利用了摩擦原理。

5.1.3 制动器将速度转化为摩擦热

当制动装置试图使轮胎停止转动时，会因摩擦而产生热量。正是通过将汽车行驶的动力转化为热量并将其释放到空气中，汽车才能减速。

制动器利用摩擦将速度转化为热量。摩擦是在物体相互接触时产生的阻力，当忽略阻力继续摩擦时就会产生热量，即摩擦热。在寒冷的冬天搓手会觉得温暖，也是摩擦热在起作用。汽车的制动器就是产生摩擦热的装置。

上一节我介绍过，位于四个轮胎内侧的制动装置是由制动卡钳、

制动垫和制动盘组成的。当制动垫夹住金属的制动盘时两者相互摩擦，产生摩擦热。摩擦热会从制动盘被释放到空气中，使汽车降低速度直至停止。

如前所述，普通小汽车的主要制动方式都是利用摩擦将速度转化为热量，再将其释放到空气中。一方面，汽车在发动机中燃烧汽油，用燃烧生成的热量带动活塞上下运动，再将其转化为旋转运动。另一方面，汽车在停止时将速度转化为热量并将其释放到空气中。这样看来，汽车就是在反复进行热量交换，或者可以称为能量的轮回。

5.1.4 盘式制动器和鼓式制动器的不同

现在绝大部分小汽车的制动器都是盘式制动器，但也有一部分采用的是安装在后轮上的**鼓式制动器**（图 5.3）。下面我就来介绍一下盘式制动器和鼓式制动器的特征。

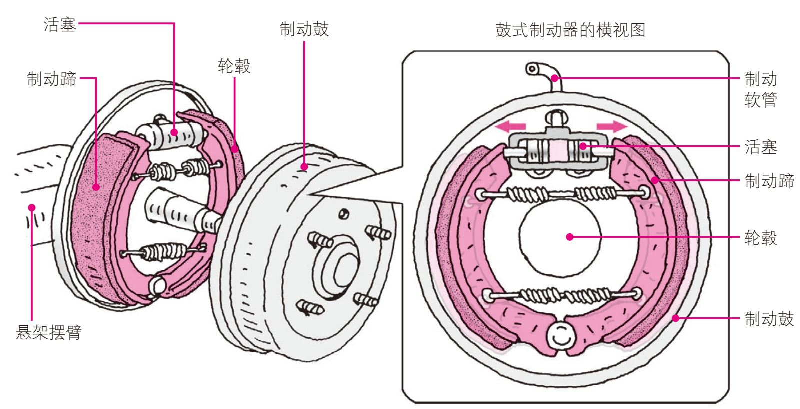


图5.3 鼓式制动装置的构成
鼓式制动器的内侧有制动蹄，当向制动液施压活塞下压时，制动蹄会向外扩张，紧贴鼓的内侧，实施制动。

在盘式制动器中，产生摩擦热的制动盘是暴露在外面的，这是为了将热量更容易地释放到空气中。

如果不将制动装置产生的热量源源不断地释放到空气中，也就无法制动。你或许听说过，也可能亲身体验过，当汽车在下坡路上长距离行驶时，如果始终踩着制动踏板就会导致无法制动。这是因为如果始终踩住制动踏板，制动盘产生的热量就会超过释放到空气中的热量，使得制动盘持续带热。

制动时产生的热量能使水沸腾，在赛车比赛中，制动盘甚至会像被火烧过一样热得通红。

再来说鼓式制动器。在薄薄的圆柱形的鼓内装有**制动蹄**，它与制动垫的功能相同，但在鼓式制动器内我们把它称为制动蹄。

当制动液的力量经由制动管道传递到活塞时，制动蹄就会向外扩张，紧贴到鼓的内侧。这样一来就会产生摩擦，生成摩擦热。因为摩擦热产生在鼓的内侧，所以与盘式制动器相比热量更容易保存。但由于制动时产生的热量还是应该尽快释放到空气中，因此这种结构也会成为一个缺点。

那么为什么会有鼓式制动器呢？这是因为在鼓式制动器中，制动蹄紧贴的是鼓的内侧，这就使得紧贴面上很难残存污物。在道路大都未经铺砌的时代，鼓式制动器流行的原因就在此。

现在的道路大多是经过铺砌的，人们不再担心会有泥巴之类的污物。并且，性能的提高使得汽车能以更快的速度行驶，因此冷却性良好、能使汽车从较高速度瞬间停止的盘式制动器普及开来。

但目前还有将鼓式制动器用在负担较小的后轮上的汽车。至于后

轮制动的负担较小的原因，我会在之后的讲解中解释。

5.1.5 前后轮的制动负担不同

无论是汽车还是火车，当其从行驶状态一下转入制动状态时，乘客的身体都会前倾。正在走路或者跑步的人突然停止时，身体也会前倾。汽车在制动时也会出现与人的身体前倾相同的**负重转移**现象，即车身的重量集中到前轮。相反，汽车在加速时负重就会转移到后轮。

正是因为制动时负重会转移到前轮，才会给前轮的制动器带来很大的负担。因此，前轮的制动器必须生成大量的摩擦热，以产生强大的制动效果，所以要增大前轮的制动器容量。所谓增大容量，是指增加制动盘的直径和厚度，并增大制动盘。

而且，为了使热量尽快从容量较大的制动器中释放出来，还有的制动器在制动盘较厚的地方留出了缝隙，将空气通入圆盘中。我们称之为**通风盘式制动器**。此外，在跑车等频繁高速行驶的汽车中，还在其前保险杠上留出用于冷却制动器的小孔，把从小孔中进入的空气导入制动盘中，以强制提高冷却效果。

5.1.6 增强前轮制动效果的结构

那么当驾驶员踩下制动踏板时，是如何改变前后轮的制动效果的呢？

对驾驶员来说无需进行特别的操作。之前我讲过，在制动装置中，当驾驶员踩下制动踏板时，制动主缸中的活塞会下压。制动装置中嵌入了改变前轮和后轮中活塞移动量的结构。

这一结构运用了非常简单易懂的杠杆原理，我来举一个身边的例子解释一下。请你把一支铅笔横放在桌子上，然后按住铅笔的中心点

向前推，这时铅笔会直着向正前方移动。接下来你可以再按住铅笔偏右或者偏左的地方向前推，这时铅笔就会斜着移动，左右方向的移动距离不一样（图 5.4）。

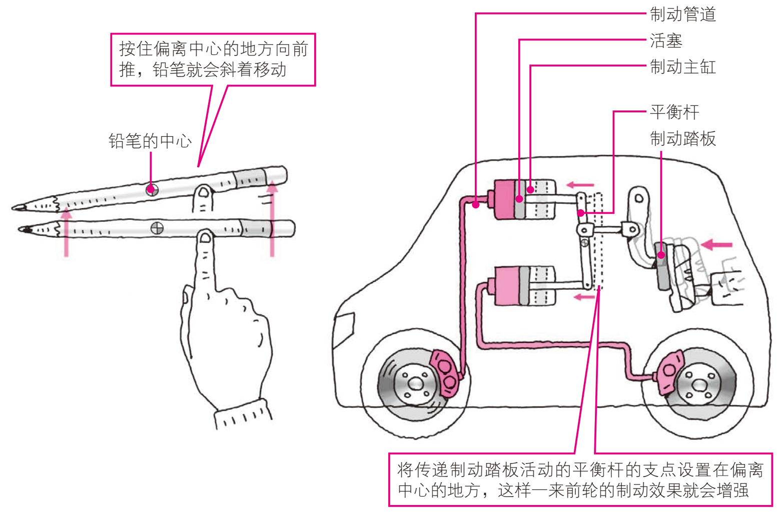


图5.4　改变前后轮制动效果的结构
利用杠杆原理增强前轮的制动效果。平衡杆负责传递制动踏板的活动，其支点偏离中心，以改变制动器的压力。

大家可以把推铅笔的手指看作是制动踏板。前后轮的制动器分别连着活塞，就像一根手指让铅笔左右移动的距离不同一样，一个制动踏板也会使得活塞的移动距离不同。**平衡杆**连接两个活塞，制动踏板安装在平衡杆偏离中心的位置上。这样一来，前轮制动器的制动效果当然更强。

在图 5.1 中，为了让你理解基本的结构，我只画了一个主缸。但实际上制动器如图 5.4 所示，有两个主缸。

与后轮相比，前轮制动器的制动负担更重，因此前轮配备的是易散热的盘式制动器。而后轮的制动负担比前轮小，采用的是小于前轮的盘式制动器或鼓式制动器。近年来，小型汽车的性能都提高了，也能够在短时间内加速，因此后轮也通常采用盘式制动器。

5.2 制动器的助力

5.2.1 用很小的力也能让1吨的车停止

讲解完制动器的结构后，现在开始介绍帮助驾驶员轻松平稳转向的力量。

在第 3 章中我讲过，即使是小型汽车也重达 1 吨，驱动其前进需要很大的力。且仅靠发动机产生的力是不够的，还要在之后的动力传动系中组合大小齿轮，推动汽车前进。

你是不是觉得很不可思议？仅靠驾驶员用右脚踩下制动踏板，就可以使重 1 吨左右的汽车从时速 100km 平稳地停止吗？即使是没什么力气的人，也能通过踩下制动踏板让汽车停止。

为了让每个人都能轻易地把车停下，汽车在增大制动踏板的踏力方面做了两项努力。第一项是将杠杆原理应用于制动踏板本身；第二项是设置了利用空气压的辅助装置——**真空倍力装置**。接下来我将详细解释这两项内容。

5.2.2 用杠杆原理增大踏力

首先，第一项内容利用了杠杆原理的制动踏板。想必大概大家都

没有特意观察过脚下的制动踏板，那么下面我们就来看一下。

制动踏板连在一根长杆的前端，从上方垂下，单独拿出来看时它就像游乐园里的跷跷板。大家可以回想一下玩跷跷板时的情景。当两个体重大致相同的孩子坐在跷跷板的两端时，跷跷板就能很好地上下运动。而当其中一端的孩子个子高且体重沉时，跷跷板就没法上下运动了，个子矮体重轻的孩子所在的一端就会一直悬在空中。此时如果个子高的孩子靠近跷跷板的中心支点，个子矮的孩子坐着的一端就会下降。重点就在于此。也就是说，如果体重轻的孩子坐在跷跷板的边缘，体重重的孩子坐在靠近跷跷板支点（中心）的地方，力就均等了，两个孩子也就能玩跷跷板了（图 5.5）。

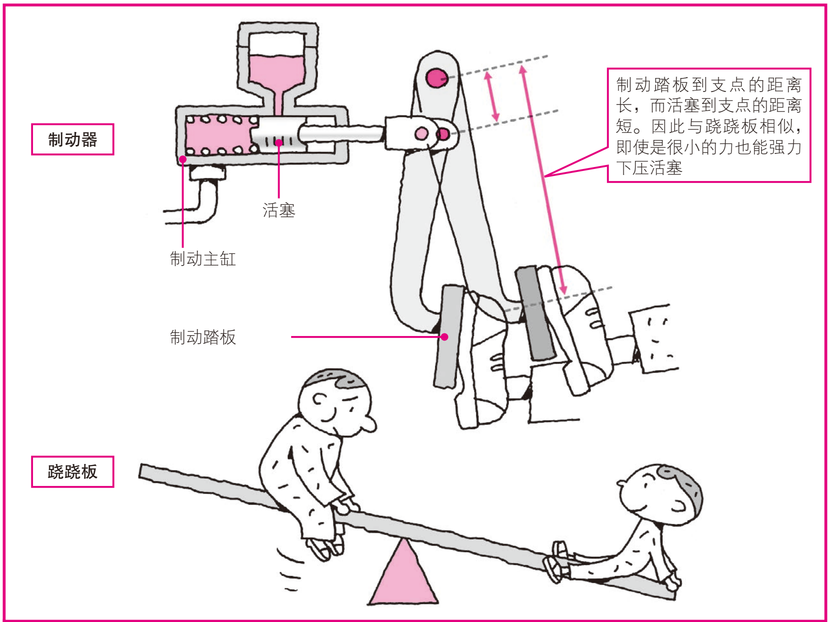


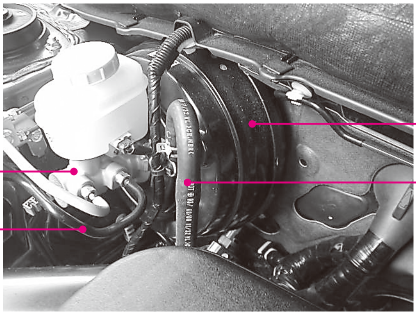
图5.5 踏力很弱也能产生很强的制动效果
通过改变支点的位置，让很小的踏力产生很强的制动效果。在跷跷板上，坐在远离支点位置上的体重很轻的孩子和坐在靠近支点位置上的体重较沉的孩子实现了平衡。根据这一原理，弱小的踏力也能与产生强烈制动效果的力实现平衡。

再回到制动踏板上来。与跷跷板不同，制动踏板的支点并不是在长杆的正中心，而是在最上方，因此支点两边的距离并不相等。制动主缸距支点近，而制动踏板距支点远。这样一来，借助两者与支点之间距离的不同，就能将人踩下制动踏板的力增大后再传递到制动主缸中。这就是制动踏板所运用的杠杆原理。

5.2.3 用发动机的力辅助制动踏板的踏力

下面我将讲解第二项内容——真空倍力装置。制动主缸由液压缸和活塞组成，踩下制动踏板的力会传递到发动机室一侧的制动主缸。踩下制动踏板的力下压活塞，被下压的活塞挤出液压缸内的制动液，将下压的力传递给轮圈内侧的卡钳。随后就像之前介绍过的一样，卡钳内侧的制动垫夹住制动盘实施制动。

打开汽车的发动机罩观察发动机室，就会发现大圆盘状的真空倍力装置安装在制动主缸上（照片 5.2）。真空倍力装置的内部分为两个部分（图 5.6），其中的压力有些不同。制动踏板一侧的部分与大气压相同，都是 1 气压，而制动主缸一侧的部分压力小于 1 气压。小于 1 气压的低压由发动机提供。



照片5.2　安装在发动机室内的真空倍力装置

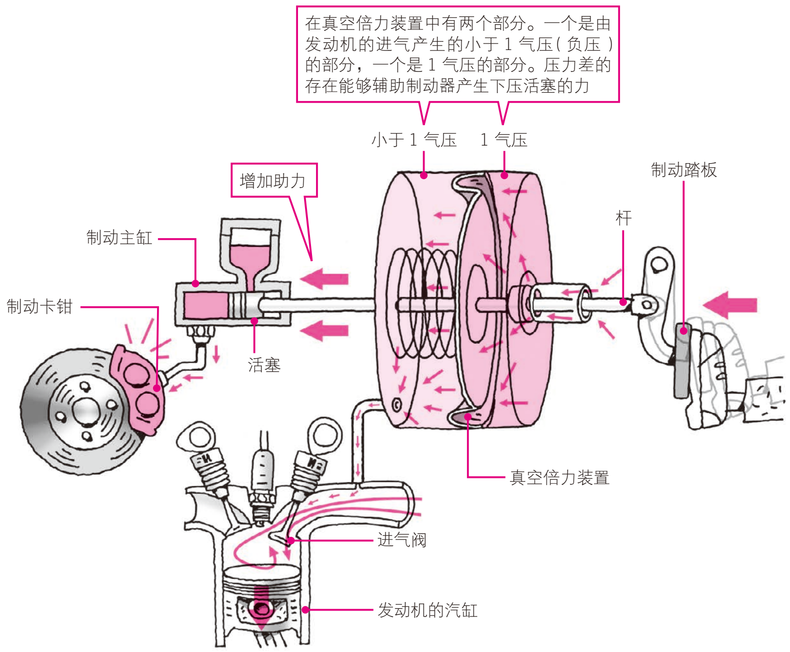


图5.6　真空倍力装置
利用真空倍力装置中的气压差，通过踩下制动踏板辅助制动器产生下压活塞的力。

在第2章中我讲过，发动机将混合气体吸入汽缸中。而为了将1气压的空气吸入发动机，发动机的汽缸中必须为负压。将汽缸中的负压通过管道导入装有真空倍力装置的制动主缸一侧，就能在两部分之间形成压力差。

分隔两个部分的壁由高压部分移至低压部分，真空倍力装置将这个移动力用于制动。这样一来，即使用很轻的踏力也能产生很强的制动效果。

当发动机不工作时，如果踩下制动踏板的力不是大到足以将其踢飞，

就无法制动。如果想用很轻的踏力实施制动，就必须借助发动机。

5.3 轮胎使汽车停止

5.3.1 轮胎也会影响制动效果

下面我将要介绍的是除了刚才讲过的制动装置之外，让汽车停止的另一个重要因素——轮胎。

汽车与路面的唯一接触点就是轮胎，因此轮胎的功能对汽车来说是必不可少的。无论配备了性能多高的制动器，产生制动效果的还是轮胎，并且制动器只有在轮胎抓地力的界限内才会发挥作用。如果制动时超过了轮胎的抓地力，制动器本来的性能得不到发挥，汽车就迟迟无法停止。

即使不超过抓地力的极限，在抓地力很小的情况下，汽车停止前仍需行驶很长的一段距离。大家都知道，无论是结了冰的路面、下过雪的路面还是下过雨的路面都容易打滑，在这样的路面上即使踩下制动踏板汽车也很难停止。

下过雨的路面上覆盖着一层水膜，制动时汽车很难停止。在水坑中时，轮胎容易浮在水膜上，即使踩下制动踏板也无法轻易停车。我们把这种轮胎浮在水膜上的现象称为**漂滑**。

即使是在晴天干燥的路面上，与直行时制动相比，边转向边制动也会很难停车。请你回想一下第 4 章中图 4.5 的轮胎摩擦圆，我曾讲过，轮胎的抓地力是有界限的。转向时轮胎已经将大部分抓地力用在了抵抗离心力、支撑汽车上，因此制动时必须在残存的抓地力的范围

内获得制动效果。

有些汽车生产商热衷于提高汽车的性能，但如果不强化装置和轮胎的性能，就无法获得期待的效果。

例如在提高制动器的性能方面有一种将装置大型化的方法。除此之外，还有一种为提高制动盘的冷却性进行强制冷却的方法，即在前保险杠上留出孔隙，将从中吸入的空气经由管道导入制动盘中。

但即使提高了制动器的性能，轮胎损耗时抓地力也会减小，影响制动效果。相反，如果不提高发动机的性能，只配备能够产生强大抓地力的轮胎，汽车就能在短距离内停止。虽然配备与汽车的高速度相应的制动器很重要，但请不要忘记，帮助制动器充分发挥其威力的轮胎的性能也很重要。

5.3.2 轮胎不转动就无法制动

轮胎和制动器还有另一层重要的关系，即轮胎不转动就无法制动。读到这里，你或许会觉得有些不可思议。

汽车停止是因为轮胎停转了，但在汽车完全停止前，轮胎不转动就无法制动。

那么如果轮胎在汽车行驶时停转了会怎样呢？如果汽车正在行驶中，也就是说当汽车还有速度时轮胎停转了，那么轮胎就会在路上滑行。急刹车时就可能会出现这种现象。

我在第 4 章中已经提到过，超过轮胎抓地力的极限时轮胎就会滑行。一旦超过了抓地力极限，汽车就很难行驶、转向和停车了。在汽车的速度减到 0 之前，保持轮胎转动是十分重要的。

因此，在 20 世纪 70 年代就出现了一种叫做ABS（Anti Lock Brake System）的电脑控制装置，用于防止轮胎在停车前停转。我会在第 7 章中详细解释 ABS。

5.4 除制动器之外的减速装置

利用发动机摩擦的发动机制动

除了之前介绍过的制动装置之外，还有其他减速的方法，例如**发动机制动**。它是通过选择变速器中的低速齿轮（齿轮比的差较大的齿轮）组合，强制提高发动机的转速，利用其产生的阻力进行减速的方法。你或许会问：为什么提高发动机的转速会减速呢？发动机转速的提高不是会使汽车加速吗？

使用发动机制动时不踩下加速踏板，也就是给发动机提供极少量的汽油，只要能保证发动机不停转，具体来说就是能怠速就可以了。在这种状态下选择变速器的低速齿轮，就能提高发动机的转速。仅供给少量的汽油是为了强制提高发动机的转速，此时活塞的上下往复次数增加，摩擦阻力也会相应地变大，汽车的速度也就降低了（图 5.7）。这时如果猛然将挡位切换到低速齿轮组合，发动机就可能会因转速过高而损坏。这一点你要格外注意。

另外也有利用空气阻力的制动器，例如飞机中就有着陆用的制动器——襟翼。它将一种翼面安装在机翼上，通过增加空气阻力来降低速度。与此同理，在跑车车身的后端装上**定风翼**，跑车通过电子控制调整其角度，也能增加空气阻力。在跑车等具有很强的高速行驶性能的汽车中，利用空气阻力进行减速的方法也能充分发挥作用。

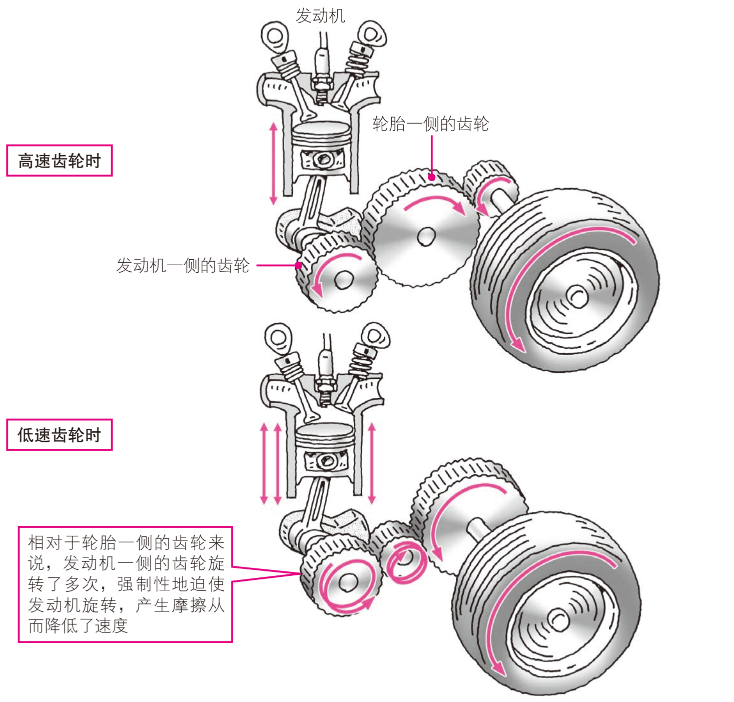
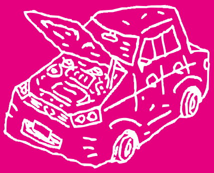


图5.7　发动机制动的原理
从高速齿轮切换到低速齿轮时，轮胎一侧的齿轮转速会突然加快，硬生生地加快了发动机的转速，从而产生摩擦阻力。其结果是使汽车减速。

更加极端但不常用的减速方法是通过在后端打开降落伞进行减速，通常只在挑战最高速度记录等特殊的情况下才会在汽车中使用。这种用于制动的降落伞，每用一次都需要折叠。

Column

汽车辟谣



紧急时刻有人不踩刹车吗？

编辑：我听说有很多人在紧急避让时不踩刹车。是真的吗？

记者：从汽车生产商们进行的事故调查结果和来自驾校的数据统计来看，的确有很多。

编辑：竟然还有这种事？只有一部分人这样吗？

记者：那你有过急刹车的经历吗？

编辑：安全行驶课上老师教过我们不能有急加速、急转弯、急刹车等带有"急"字的行驶习惯啊。

记者：确实是这样。但如果遇到可能会发生撞击的紧急时刻呢？

编辑：那我就不知道了，我没经历过。

记者：这样的话，还是经历一次比较好。

编辑：你是让我出一次车祸？！

记者：怎么会！就是因为有很多人像你一样没体验过急刹车，所以一旦遇到紧急时刻，因为不踩刹车而发生撞击的事故就有很多。如果能在安全的地方以安全的速度体验一次急刹车，就会对紧急避让有帮助。

编辑：在哪儿能体验到啊？

记者：参加正规的驾驶训练。像在汽车生产商举办的活动上啦，汽车比赛的环形路线上啦，JAF（日本汽车联盟）啦都有。

编辑：总觉得有点麻烦。

记者：正是因为很多人都跟你的想法一样，所以汽车生产商们才开发了制动辅助功能。

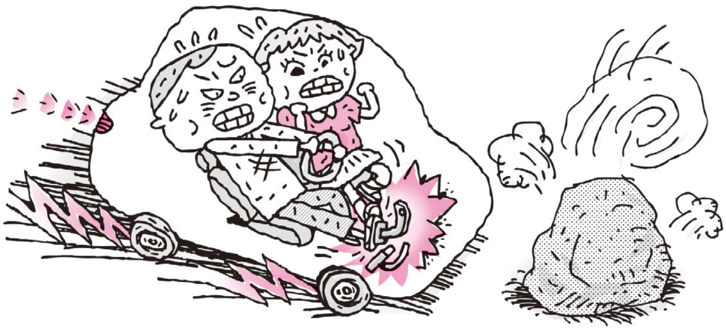
编辑：那是什么？

记者：在紧急情况下能够代替司机急刹车的功能。

编辑：汽车真的能做到吗？

记者：你不是刚才还嫌去参加驾驶训练很麻烦吗？！

编辑：说是那么说，但总觉得完全依赖汽车还是有些不安啊。



记者：遇到事故时，驾驶员操作踏板的速度要比平常快。但很多人因为没有经验，常常无法用力踩下制动踏板。遇到紧急情况时，驾驶员从加速踏板踩到制动踏板的状态与平时不同，且踩下制动踏板的速度也比平时快，制动辅助就是通过检测这两项数据进行强制制动的。

编辑：汽车真能做到吗？

记者：当然了，正如你所担心的，汽车很难判断是否处于危险状态。所以汽车生产商们是经过多次检验测试才慎重地开发了制动辅助装置的。我也试过制动辅助，只有在迅速踩下制动踏板时汽车才会强制制动。但无论如何人们都该首先对汽车的驾驶负责，毕竟制动辅助只能起到辅助作用。

编辑：是只有高级汽车才有这种功能吗？

记者：不不，小型汽车也开始使用了，所以制动辅助的未来还是很值得期待的。

编辑：太好了，汽车的安全是重中之重。快把制动器的重要性和制动辅助等电子控制的进步写成报道，好好整理一下。

记者：好的！

第6章

舒适性

——很好地减小噪声和振动

热身问答

阅读正文前，让我们先回答下面的问题来热热身吧。

问题

在汽车界有一个术语叫 NVH。N 是 Noise 即噪声，V 是 Vibration 即振动。那 H 的 Harshness 指的是什么呢？

1. 协调
2. 分段
3. 声振粗糙

答案

3. 声振粗糙

解析

汽车行驶时会产生振动（Vibration）。首先会有因为路面凹凸而引起的振动。即使是在平如镜面的路面上行驶，发动机的振动也会从车身传递到人身上。振动又会产生噪声（Noise），振动和噪声都会给乘车人带来不快。

除了像振动这样的反复冲击，当汽车经过路面的接缝时，也会有一些一次性的冲击。我们把这样的冲击称为声振粗糙（Harshness）。

减小了 NVH（噪声 / 振动 / 声振粗糙）就能提高乘坐舒适度，汽车就会成为舒适的交通工具。

本章
重点

在第 6 章中，我将讲解如何使汽车乘坐起来更加舒适。首先我们要确认行驶中的汽车何处会产生振动和噪声，之后我会讲解如何减小 NVH（噪声、振动、声振粗糙）。

举个例子来说，可以用弹簧吸收冲击，缓和路面凹凸的影响，但调整弹簧的强度绝非易事。柔软的弹簧虽然可以吸收冲击，但其本身的振动很难停止。如果汽车总是在摇晃，行驶起来就不太稳定。因此为了迅速平复弹簧的振动，汽车生产商们在悬架上安装了减轻振动的减震器。

这样一来，在汽车的舒适性方面，如何协调汽车行驶的稳定性等其他要素之间的关系就成为重中之重。因此为了保证汽车的舒适性，就需要让几个功能同时发挥作用。

本章看点

（1）减小各种噪声

汽车中有各种产生噪声的装置和零件。我将详细解释有哪些噪声，以及如何应对那些噪声。减小噪声能够提高汽车的舒适度。

（2）减轻振动

汽车行驶在凹凸不平的路面上时会产生振动。当产生的振动较严重时，乘坐舒适度当然会降低。悬架用于减轻振动。我将介绍悬架的结构和为改进悬架所做的努力。

（3）减轻声振粗糙

行驶在有断坡[①]的路面上时，汽车前后会受到冲击，即声振粗糙。我将介绍减轻声振粗糙的方式。

① 在道路或平坦的地面上呈阶梯式高低不平的地方。——译者注

6.1 减小各种噪声

6.1.1 汽车上处处都是噪声源

截至第 5 章，我已经介绍了实现汽车行驶、转向和停车三大要素的装置。这三大要素对汽车来说十分重要，但实际上，乘坐汽车时舒适性也扮演着相当重要的角色。如果一辆汽车的乘坐舒适度很低、噪声很大，那么无论它能多么完美地行驶、转向和停车，也不会受到欢迎。NVH（Noise Vibration Harshness，噪声 / 振动 / 声振粗糙）决定了汽车的舒适性，因此接下来我将讲解产生 NVH 的原因以及如何减小 NVH。首先来说说噪声。

汽车上处处都有噪声。发动机、动力传动系、悬架、轮胎和制动器等装置都会产生噪声（表 6.1）。

表 6.1　汽车的主要噪声源及其对策

噪声源	噪声的内容	对策
发动机	将空气吸入汽缸时的进气音	利用空气净化器阻碍一部分空气的流动，抑制噪声
	在凸轮轴和曲轴的连接部分使用金属链时的撞击声	使用在链条内侧薄薄地覆盖着橡胶和树脂的“无声链”
	发动机内燃烧的声音	用叫做“汽缸体”的金属主体部分包住汽缸吸收噪声。柴油发动机通过分数次进行燃料喷射来减小噪声
	废气的排出声	用消声器吸收

（续）

噪声源	噪声的内容	对策
轮胎	轮胎的触地声	减小轮胎触地面上花纹块的面积，错开触地时间
	密闭在轮胎花纹沟里的空气产生的噪声	留出一部分防止空气逃离的花纹沟
	轮胎中的空气振动时发出的声音	在轮胎内侧缠绕上海绵状的带子，使空气的振动难以传递到轮胎表面
制动器	制动器的制动盘和制动垫之间的摩擦声	使用更柔软的制动垫
车身	汽车行驶时会形成空气的旋涡，产生风噪	减小空气阻力，去除车门和车窗的接缝和级差
动力传动系	动力传动系中齿轮的啮合声	用润滑油使齿轮平滑地啮合
悬架	悬架上弹簧和底座的接触声	在金属间的接触部分加入树脂
汽车整体	汽车外部的全部噪声	在汽车底盘上方铺上毛毡等隔音材料，用树脂等材料给汽车做表面涂层

其中，乘客感受最大的是来自发动机的噪声。在发动机内，挥发性很高的汽油被压缩并点燃。其燃烧就像爆炸一样迅速，且会发出很大的声音。同时还有混杂着排气的声音和发动机转动的有规律的声音传到乘客耳朵里。发动机排出的废气经过消音器进入空气中，噪声得到了很好的抑制。但行驶中的汽车仍会发出“呜呜”的排气声，且发动机转速越快，排气声越大。

轮胎也是噪声源。与人们的脚步声一样，轮胎触地时也会发出声音，但不是像脚步声一样“吧嗒吧嗒”的声音。轮胎在转动时会发出“沙沙”或“咕咕”的噪声。

制动器、制动垫和制动盘在相互摩擦时会产生“咳咳”的刺激性的

摩擦音。但由于开发使用了很难产生摩擦音的制动垫，所以只要损耗不是特别严重就不太听得到噪声。

除此之外，人们比较介意的噪声还有风噪，加速时能听到“嗖嗖”或“呼呼”的声音。

虽然不是很大，但动力传动系和悬架也会产生噪声。动力传动系是利用齿轮组合传递发动机旋转力的系统。在边组合齿轮边转动时，金属锯齿间的接触会发出“咔嚓咔嚓”的声音，高速旋转时会变成“咯咯”或“吼吼”的连续声音。

悬架上的弹簧伸缩时会发出“咯吱咯吱”的声音，类似于床或沙发垫的嘎吱声。负责平息弹簧振动的减震器中的活塞也会发出“嗖嗖”的声音。

汽车各个部分产生的噪声不仅会给乘客带来不快，还会影响沿途的居住环境。因此汽车生产商们都在致力于减小噪声。接下来我将依照发动机、轮胎、制动器、风噪、动力传动系和悬架这样噪声由大到小的顺序，讲解汽车为减小噪声所做的努力。

6.1.2 减小发动机的噪声

追随发动机的运转顺序来确定噪声出处，首先会听到发动机的汽缸吸入空气时产生的“嗖嗖”的声音，我们称之为进气声。空气经过狭窄的吸气管进入发动机的汽缸中时会产生噪声。

进气声的减小由**空气净化器**负责。空气净化器安装在空气吸入口附近，用于防止进入发动机的空气中掺杂尘土和灰烬。它由类似于滤纸的孔隙较大的纸和海绵制成，在空气进入发动机的汽缸之前，负责去除空气中的污垢并吸收噪声。空气净化器与吸收排气声的消音器作

用相同，都是通过暂时阻止空气的流动来减弱噪声的，类似于发出“呼呼”吼叫声的大风穿过树林时会变成“沙沙”的轻风般的感觉。

进气后曲轴和凸轮轴开始转动。在第2章中我讲过，传动带传递发动机曲轴的旋转，带动凸轮轴，从而开闭进排气阀，不知你还记不记得。传动带中使用了橡胶和金属链，但金属链的噪声很大。使用链条的普通自行车噪声也要大于使用传动带的自行车。

那为什么还要用噪声很大的金属链呢？这是因为比起由橡胶和纤维制成的传动带，金属链更加牢固、不易断。特别是在马力较大的发动机中多使用金属链。因此，既然使用了金属链，就要忍耐一些噪声。

但是如果在链条的内侧覆盖上一层薄薄的橡胶和树脂，就能减小噪声。我们把这种链条称为无声链，但它既费工夫又费财力。由于搭载大马力发动机的都是高级汽车和跑车，因此售价都比较高，也就可以做这项工作。

比赛用的发动机采用的既不是金属链也不是橡胶传动带，而是齿轮组合。比赛用的发动机不仅马力大，转速也是小型汽车的2倍或2倍以上。虽说是金属链，但当发动机转速过高时金属链可能会伸长或断裂。因此比赛用发动机选择的是更值得信赖的齿轮组合。使用齿轮会增大噪声，但在比赛用车中，比起舒适性更看重的是在比赛中胜出。由于比赛用发动机的排气声未经消音[①]，所以一般不会注意到齿轮啮合的噪声。

包裹在汽缸外围的被称为汽缸体的金属部分，可以在一定程度上吸收发动机内因汽油燃烧产生的燃烧声。这是因为燃烧是在汽缸内侧进行的，就像在室内说话时室外很难听到一样。

① 近年来为了改善噪声对赛车场周围地区的影响，也实施了一定程度的消音措施。即便如此，比赛用车的排气声也远远大于小型汽车。

最后还有发动机排出的废气产生的噪声，我们耳朵能听到的噪声几乎都是废气的声音。为了减小废气的噪声，汽车安装了我在第 2 章中介绍的消音器。消音器内部是像迷宫一样的隔断，废气在绕迷宫的过程中势力逐渐减弱，噪声随之变小。

使用轻油作为燃料的柴油发动机会产生更大的燃烧声，这是因为其下压活塞的力比汽油发动机强（其压缩比要高 2 倍）。柴油特有的“嘎啦嘎啦”声就是因为其燃烧的强度而发出的声音。

最近，小型汽车上的柴油发动机为了避免一次产生很大的力，采用了在一次燃烧中将燃料分几次喷射到汽缸中的方法。这样一来，噪声和振动都得到了控制。因此即使是搭载了柴油发动机的小型汽车，其舒适度也高于以往。

6.1.3 利用轮胎的沟纹减小噪声

橡胶轮胎也会产生噪声。橡胶柔软、有弹力，即使叩击也不会发出声音，但用橡胶底的帆布鞋叩击地面时就会发出声音。慢跑时我们会听到“啪嗒啪嗒”的脚步声。走路时没有声音的帆布鞋，也会在慢跑时发出声音。汽车的轮胎也是如此，低速行驶时几乎没有声音，而随着速度的提高就会发出声音。

轮胎的噪声是由轮胎触地面上矩形的块和沟引起的。顺便说一下，在晴天使用的赛车专用的**光头轮胎**（Slick Tire，在英语中是光滑的轮胎的意思）上没有花纹沟，因此噪声也小。

轮胎转动时，轮胎上的块会叩击地面。如果你觉得转动中的轮胎叩击路面有些难以想象，可以看一下图 6.1。图中的曲线叫做**摆线**，用于表示轮胎外圈上的某一点是如何随轮胎的转动发生变化的。看一下

摆线，你就能明白轮胎上的点是如何从上方叩击路面的了。也就是说，轮胎也是靠强烈叩击路面来与地面接触的。这样一来，你就能理解轮胎为何发出声音了吧。

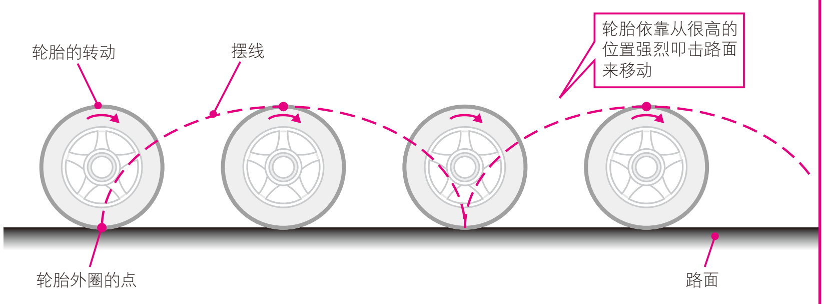


图6.1　轮胎的摆线
观察轮胎上的某一个点，画出其强烈叩击路面的曲线。

并且在轮胎外圈的触地面上，还并排着因花纹沟鼓起的各式各样的橡胶块（照片 6.1）。在讲摆线时所说的轮胎外圈的某一点，就在橡胶块上。你可以想象一下橡胶块与路面相接触，即叩击路面的情景。



照片6.1　轮胎的沟纹
照片由普利司通①提供

① BRIDGESTONE 是世界上最大的轮胎及橡胶产品生产商，也是世界轮胎业三巨头之一。——译者注

由于橡胶块是并排成一排的，叩击的时间相同，产生的噪声也会很大。因此，错开橡胶块的位置，使其触地时间变得不同，就能起到减小噪声的作用（图 6.2）。

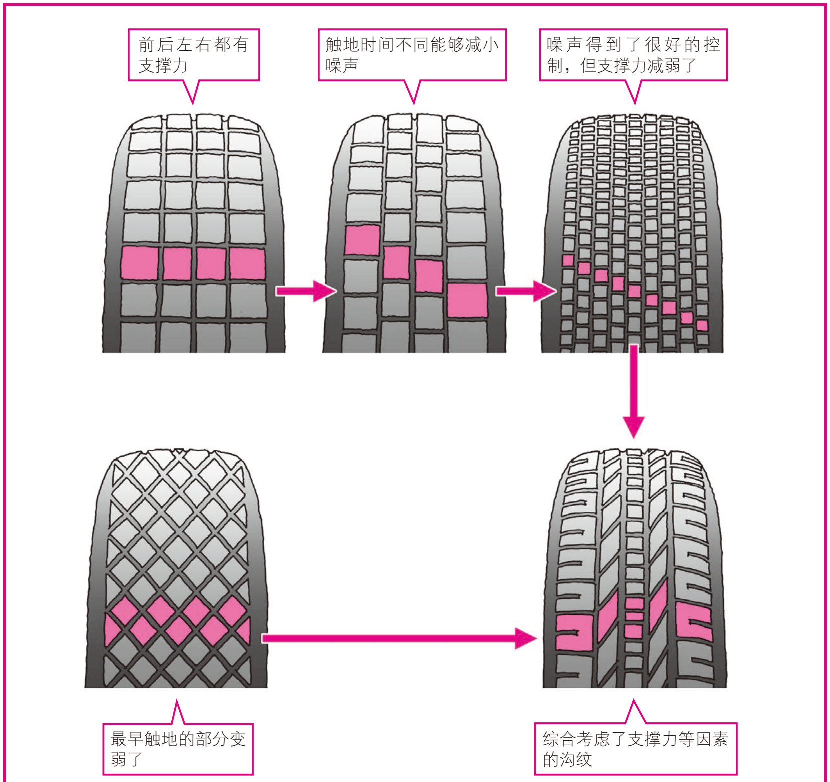


图6.2　几种轮胎的沟纹
轮胎表面的沟纹不同，支撑力和噪声就会不同。在实际决定轮胎沟纹的过程中，要考虑到这些因素。

橡胶块越大，产生的噪声就越大。就像用手掌敲击大鼓时鼓声较大，而用指头敲击时鼓声就很小一样。也就是说，为了减小轮胎的噪声，可以减小轮胎触地面上橡胶块的面积，同时错开它们之间的位置。

如果将橡胶块改成尖头的、朝向轮胎前进方向的菱形，就能进一步减小噪声。这是因为最先与路面接触的是菱形凸出一端的面积较小的部分，因而能够起到抑制噪声的作用。

我们把轮胎触地面上的橡胶块称为**花纹块**，将花纹块的形式称为**沟纹**（图 6.2）。改变沟纹能够减小噪声。公认的较为安静的轮胎沟纹（照片 6.1）多采用小小的尖头的花纹块。

但有的轮胎的沟纹花纹块比较大。这是为什么呢？

是为了增大抓地力。小的花纹块支撑力也小，就像脚大的人比脚小的人站得稳一样。

当搭载着大马力发动机的汽车猛然加速时，以及当跑车等底盘低的汽车突然转向时，轮胎必须能够抵抗强大的加速力和离心力。这时就要用到花纹块较大的轮胎了。在这种情况下，就需要忍受一些噪声，优先增加轮胎的抓地力了。

但是最近，有的高级小客车也具备了像跑车一样能够快速行驶的性能。安全地快速行驶需要花纹块较大的轮胎，但高级汽车又不允许轮胎的噪声过大。因此，如何制造出抓地力大但噪声小的轮胎，就成为了轮胎生产商们的竞争焦点。

6.1.4 轮胎上的花纹沟兼顾排水性和噪声控制

除了轮胎上的花纹块，轮胎接地面上的花纹沟也会对噪声产生影响。轮胎上的花纹沟也会引起噪声。

轮胎上花纹沟的作用是在雨天轮胎与地面接触时，将积存在路面上的雨水排出轮胎的触地面，这样才能使轮胎表面紧贴路面。当轮胎

与路面接触时，轮胎表面的花纹沟就会被路面覆盖，形成管道。管道中充满了空气，从中排出时会发出声音。

把旋涡状的贝壳贴近耳朵时，会听到沙沙的声音。即使不向里面吹气，也会听到像吹笛子一样的声音。同样的事情也会发生在路面与轮胎之间的管道中，密闭在管道内的空气逃出管道时会发出声音。

比赛用的光头轮胎没有花纹沟，也就不会产生很大的噪声。这样看来，花纹沟也与轮胎的噪声有关。当然了，比赛用轮胎分为晴天用的和雨天用的，但普通的小型汽车晴天雨天共用一组轮胎，因此轮胎触地面上的花纹沟是必不可少的。轮胎生产商们的工作，就是让轮胎具备在充分排出雨水的花纹沟的同时不产生噪声。

这样开发出来的轮胎比较"安静"，而实现这一目标的方法是留出不让空气外逃的、终点性质的花纹沟。空气不外逃也就能降低噪声了。但如果把所有的花纹沟都设计成终点式的，排水功能就会减弱。这个度的把握就全仰仗轮胎制造商们的技术水平啦。

6.1.5 用轮胎抑制噪声的增加

除此之外，还有轮胎引起的噪声。轮胎中充满了受压的空气，无论是橡胶的柔软和弹力，还是受压的空气，都能帮助轮胎吸收因路面引起的振动，缓和冲击。但密闭的空气会增大噪声。

还是以大鼓为例。仅敲击大鼓的鼓皮时，大鼓只会发出很小的砰砰声。但当两侧的鼓皮膨起，中间充满了空气时，空气会使鼓皮的振动强度增加，发出很大的咚咚声。与此同理，轮胎的噪声也会因轮胎内的空气而增大。

为了减小噪声，有的轮胎在轮胎内侧缠绕上了海绵状的带子。用手下压并敲击大鼓的鼓皮时，空气的振动很难传递到大鼓的表面，音色也就会变得不强烈了。同样，缠绕上海绵状的带子就会使得轮胎内的空气振动很难传到表面。

这样看来，即使是同一个轮胎也会产生各种不同的噪声。只有一一探明这些现象并采取合适的对策，才能生产出行驶性能强且舒适度高的轮胎。

6.1.6 柔软地固定金属，减小制动器噪声

制动器也会产生噪声。制动器利用制动垫压紧制动盘，产生摩擦，降低速度。制动盘和制动垫都是由金属制成的，压紧时会产生噪声。

以前制动垫使用的是摩擦较大的石棉。但当人们发现石棉的危害性后，便开始寻找其他摩擦材料。因此出现了将细腻的金属固定起来制成的制动垫。

在现在的制动器中，金属之间会相互接触，这当然会产生噪声，是类似于指甲划过玻璃时“呲呲”的刺耳的声音。我们将这种声音表述为“制动器在鸣叫”，是一种谁都不想听到的声音。因此，当把制动垫的金属制成垫子形状时，就能比较柔软地固定下来，也就很难产生噪声了。

但有的欧洲汽车会产生很大的制动声。与日本汽车相比，欧洲汽车无论是在普通道路上还是在高速公路上，都是高速行驶的。因此就要求制动器能在短距离内使汽车安全停止，即使在高速行驶时也是如此。柔软的制动垫会增加停车前的距离，因此需要使用比较坚硬的制动垫，尤其是搭载了大马力发动机的高性能欧洲汽车，其制动器更容易产生噪声。

6.1.7 接近流线型能够减小风噪

如果你突然听到很大的声音，那是因汽车车身而引起的风噪。我们时常忽略地球上存在着空气，汽车行驶时空气会形成旋涡引起风，从而产生风噪。

既然地球上有空气，风噪就不会消失。虽说如此，但也有减小这种噪声的方法，即抑制空气的流动形成旋涡（图 6.3）。空气的旋涡既是噪声源，又会成为妨碍汽车行驶的空气阻力。抑制空气形成旋涡，不仅能够减小噪声，还能提高汽车的行驶速度，可谓是一石二鸟。

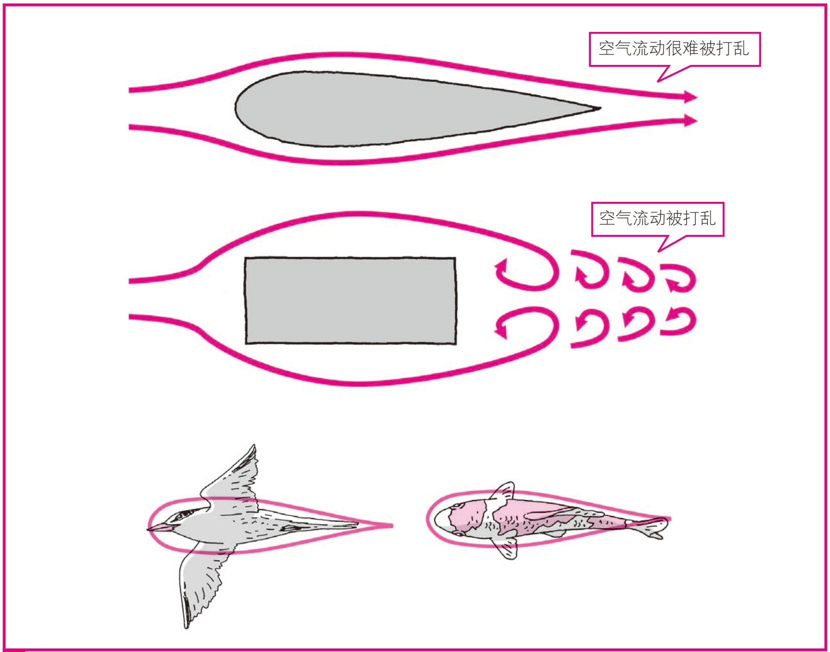


图6.3　汽车的形状与空气流动的关系
汽车越接近流线型，空气流动越不会被打乱，风噪也越小。

为了防止空气形成旋涡，汽车生产商们开始在汽车的形状上做文章。流线型不会扰乱空气流动，因此汽车越接近流线型越难形成旋涡，也就越能抑制风噪。

但如果不是挑战速度纪录的汽车和比赛用车，设计成流线型是很困难的。因为如果接近流线型，人们的乘坐空间和货物的堆放空间都会受到限制。如果把汽车设计成乘坐空间大、货物堆积空间大的形状，就会接近四边形，空气阻力变大，风噪也会变大。既要接近流线型，又要给人和货物留出足够的空间，实在是很困难。即使不完全设计成流线型，而只是将车身调整圆滑，也有减小空气阻力和风噪的效果。

除了将汽车设计成不打乱空气流动的圆滑形状，去除车门和车窗的接缝也有类似的效果。我们把去除车门和车窗的接缝级差称为**平整表面**（flush surface）。flush 的意思是迅速流动，即表示空气快速流动。surface 是指表面，所以这个词的意思就是空气迅速流过平滑的车体表面。

虽说如此，但玻璃窗和支撑它的窗框之间无论如何都会有级差。如何使其变得平滑，就要看汽车生产商们的本事了。最近很多汽车都采用了平整表面的技术，将车体表面设计得很平滑。这样看来，即使是我们平时不怎么在意的车窗，也包含了这项技术。

风噪还来自于用于确认后方情况的后视镜。从车身两侧凸出的后视镜，的确是阻碍空气流动的障碍物。虽说如此，但因为驾驶员需要确认后方的情况，所以后视镜必不可少。

因此汽车生产商们为了尽量不扰乱空气流，就在后视镜外围加了一层圆滑的覆盖物。如果覆盖物的形状不理想，汽车在高速公路上加速时，覆盖物就会产生“嗖嗖”的风噪。

6.1.8 因动力传动系的变速产生的噪声

负责将发动机的旋转力传递到轮胎的动力传动系也会产生噪声，包括啮合的齿轮转动时的声音以及变速器变速时的声音。

不仅是变速器，两个齿轮转动时也会产生“呜呜”的噪声，这是因为齿轮在不断啮合锯齿，又在不断推开锯齿。由于齿轮是以微米的精度进行啮合的，所以通常不会产生想象中的“嘎吱嘎吱”的声音。

这种齿轮啮合的声音无法完全消除，充其量只能是借助润滑油使其平滑地啮合。不使用润滑油时，齿轮啮合的部分就会产生摩擦热，可能导致齿轮燃烧。

在变速器（主要是手动变速器）的变速过程中，切换齿轮组合时有时会发出“嘎吱嘎吱”的声音。自动变速器使用了行星齿轮，每个齿轮都是固定的，加速过程中只需决定让哪个齿轮转动就可以了。因此比起需要切换齿轮组合本身的手动变速器，自动变速器变速时产生的噪声就很少。

在手动变速器中，通常是边用同步啮合装置使齿轮转速相同，边切换齿轮组合，因此几乎听不到声音。但有的汽车，例如像日产 GT-R 这样的高性能汽车，就不愿消除变速的声音。因为生产商认为，机械性的启动声正是跑车和 GT 车的魅力之一，因此他们保留了变速时“嘎吱嘎吱”的操作声，故意让驾驶员听到声音。

这样看来，对发动机排气声的好恶因人而异。有的人觉得是噪声，相反有的人觉得是强劲的、让人感觉良好的声音。因此，即使消除了汽车产生的全部噪声也未必会皆大欢喜。

6.1.9 悬架也会产生很小的噪声

悬架产生的噪声来自于弹簧和减震器。弹簧随着汽车的上下振动从底座弹起，恢复原状时就会与金属接触，产生“嘎吱嘎吱”的声音。减震器中的活塞上下运动时也会产生“嗖嗖”的声音。

如果在金属间的接触部分加入树脂，就能在一定程度上减小弹簧产生的噪声。除此之外，还可以充分增加弹簧的长度以防止其上浮，或者是在弹簧与底座的接触部分安上别扣。

虽说如此，但不在弹簧和底座之间加入多余的零件更能使得悬架充分发挥其作用。并且由于汽油动力车中其他的噪声很大，因此即使悬架的弹簧和减震器会产生噪声，驾驶员也几乎是听不到的。

6.1.10 利用底盘上的隔音材料和底盘下的表面处理隔音

汽车各个部分的零件都在运转，因此无法完全避免振动和噪声。换个角度来想，我们可以让乘车人听不到噪声。实际上，为了使乘车人听不到噪声，汽车的底盘上方铺了隔音材料。隔音材料的材质是毛毡，日语中称之为无纺布，是将纤维压制成薄薄的板状铺在里面的。

车身的底盘下方用树脂进行了表面处理（表面涂层），主要目的是防止由轮胎弹起的石子碰到底盘损伤涂漆，因为损伤后涂漆上就会生锈。这样的表面处理还可以隔音。即使是在经过铺砌的路面上，汽车行驶时也会弹起石子，石子直接接触铁板会产生噪声。如果用树脂覆盖了底盘，噪声就会减小，从而起到隔音的作用。

安静的电动汽车

电动汽车由电机驱动，不使用产生很大噪声的发动机，是一种噪声极小的汽车。即使在行驶中也非常安静，甚至注意不到它在靠近。但正是因为电动汽车很安静，其噪声才会格外惹人注目。

风噪就是其中之一。在汽油动力车中，即使是噪声很小的高级汽车也会产生排气声。排气声的存在使得驾驶员很难注意到风噪。但电动汽车没有排气声，也就更能感知风噪的存在。

除此之外，电动汽车还要注意的一个噪声是轮胎行驶时的声音，因此电动汽车需要噪声更小的轮胎。悬架随路面的凹凸上下运动时，弹簧和振动器也会产生噪声。在汽油动力车中噪声纷繁复杂，所以很难注意到这些噪声，但在电动汽车中就不同了。因此有必要在电动汽车的悬架安装方式上下些工夫。并且，在充分利用隔音材料防止噪声进入驾驶室方面，也要比汽油动力车多做些努力。

6.2 减轻振动

汽车因路面的凹凸而振动

接下来，我将介绍汽车的振动及其解决方法。振动小的汽车乘坐舒适度当然很高，但汽车的行驶和振动却有着无法割舍的关系。

首先，当汽车处于开着发动机但是静止的怠速状态时，会感受到来自发动机的振动。你可能很少打开汽车的发动机盖，如果打开看一下处于怠速状态的发动机，就会发现整个发动机都在振动。发动机压

缩着汽油和空气的混合气体并点燃，汽缸因燃烧产生的强大力量不断上下往复运动，这必然会产生振动。

汽车发动后，就会因路面的凹凸而振动。轮胎在越过凹凸时上下运动，带动悬架的弹簧和减震器伸缩（图 6.4）。当汽车越过路面的凸出部分时，弹簧收缩；当经过路面的凹陷部分时，弹簧伸长。这样一来，就利用了支撑车身的弹簧的伸缩来吸收振动。

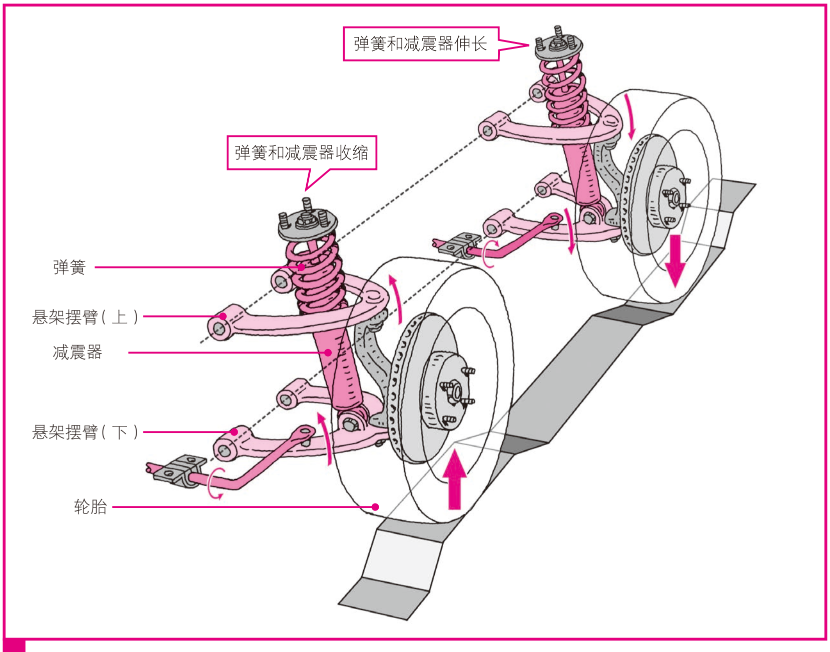


图6.4　吸收振动的悬架的结构
越过道路的凸出部分时弹簧和减震器都会收缩，经过道路的凹陷部分时弹簧和减震器都会伸长，悬架正是利用了这一特性来减小振动。

然而只用弹簧无法消除振动，因此需要用减震器吸收弹簧的振动，迅速抑制其伸缩。就像我在第 4 章的图 4.10 中讲过的那样，减震器内部的储油缸中装有油液。当活塞随着弹簧的运动伸缩时，就会受到来

自储油缸内油液的阻力，因此会迅速吸收弹簧的伸缩。

弹簧和减震器的伸缩会传递到车身。为了缓和振动，车身上装有悬架摆臂的部分使用橡胶制成衬套，利用橡胶的弹力来缓和振动（图6.5）。悬架摆臂和车身都由金属制成，比起直接接合金属，在金属间加入有弹力的橡胶更能够吸收振动。

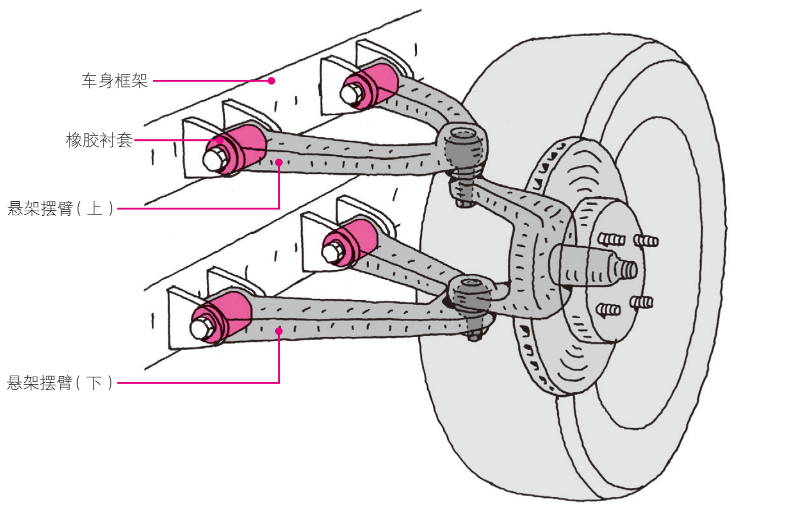


图6.5　利用橡胶衬套吸收悬架的振动
在悬架和汽车的连接处安装橡胶衬套，吸收振动。

即便如此，振动还是会从车身传到座椅的支架，经过座椅的坐垫传递到乘车人身上。虽然弹簧、减震器、橡胶衬套和轮胎等零件都会为吸收冲击而收缩，但完全消除来自地面的振动是不可能的。

即使是看似平坦的铺砌路，也会因行驶车辆过多而产生凹凸和辙印，这些都是使汽车振动的原因。在这样凹凸不平、有起伏的道路上，汽车多以时速 40km 的速度行驶。你或许会觉得时速 40km 并不是很快的速

度，但你想一下，汽车 1 秒钟就要向前行驶 11m，这个速度难道不快吗？如果在 1 秒钟内（行驶 11m）汽车多次反复经过凹凸的路面，你就能想象到振动有多频繁、多难平复了吧。更何况当汽车以时速 100km 行驶在高速公路上时，1 秒钟内要前进 27m。既然汽车无论以什么样的速度行驶都会受到路面凹凸的影响，那么为了迅速减小振动，平稳行驶，就必须调整弹簧的硬度、减震器的减震力度和橡胶衬套的硬度。

并且，包括轮胎的大小和空气压在内，汽车都处于最适合综合吸收振动的状态。轮胎通过橡胶和其中空气的伸缩来吸收振动，轮胎的空气压越高，其中的空气就越难伸缩，也就越难平复振动。相反，空气压过低时，因空气压产生的弹力就会消失，也就无法吸收振动了。因此，轮胎的空气压都是被调整到最佳状态的，在这一状态下，轮胎中的空气既有弹力，又能够吸收振动。

之所以要说“我要检查一下空气压”，就是因为轮胎中的空气会随着时间的流逝慢慢减少，因此有必要定期检查空气压，保证其处于正常状态。管理空气压不仅能够保证汽车的行驶安全，还能提高汽车的乘坐舒适度。

6.3 减轻声振粗糙

前后方向都受到声振粗糙的影响

最后我来讲一下**声振粗糙**。在本章开头的问答里我讲过，声振粗糙就是指粗糙。那粗糙又是指什么呢？它和振动有什么不同呢？

声振粗糙也与路面的凹凸有关。与振动不同的是，声振粗糙仅指汽车在经过路面凸起处时受到的来自前后方向的冲击（图 6.6）。我们把

这种冲击称为声振粗糙。产生声振粗糙后，汽车才会有上下方向的振动（Vibration）。

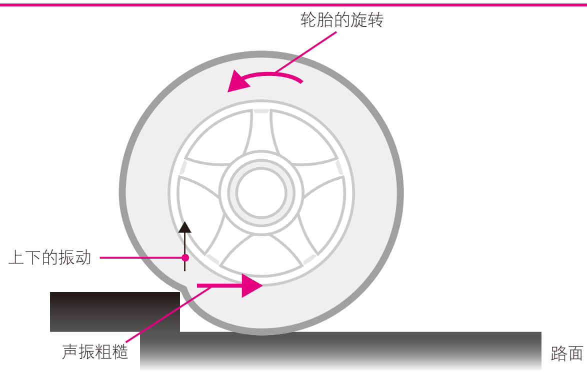


图6.6　声振粗糙
我们把轮胎越过路面凸起处时横向上的冲击称为声振粗糙

例如，轮胎越过行车道和人行道之间的级差时产生的冲击就属于声振粗糙。即使不是如此大的级差，轮胎经过道路和桥梁的接缝等小沟时产生的冲击也是声振粗糙。这是因为轮胎瞬间落入沟中，然后撞到了沟的角上，从而产生了较大级差。

在欧洲残存着从前的石板，轮胎经过时会碰到石板之间由灰泥隔开的沟的级差，从而产生声振粗糙。请你记住，声振粗糙是指最初撞到物体时的冲击，而不是指其影响的大小。当汽车行驶在石板上时，就会发生连续的冲击。

汽车在行驶时，声振粗糙从前方传到后方，请你把它与上下方向的振动（Vibration）区分开来。

橡胶衬套将悬架安装在车身上，它起到缓和声振粗糙的作用。悬

架的弹簧和减震器能够缓和上下的振动，而橡胶衬套不仅对上下振动有效，还能缓和前后方向的声振粗糙[①]（图 6.7）。

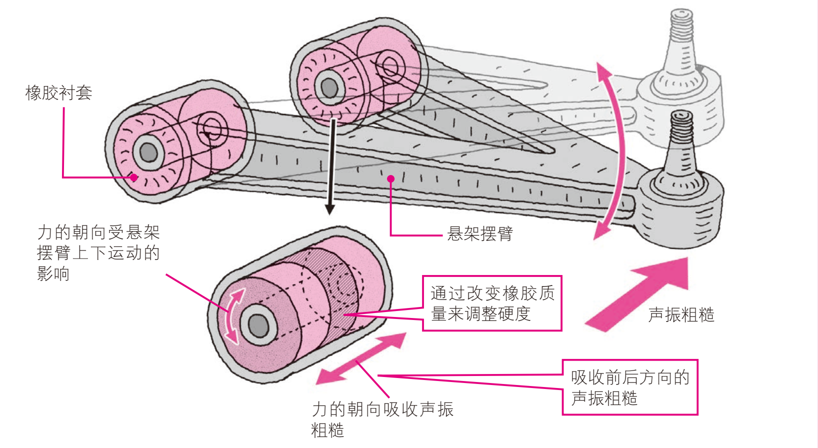


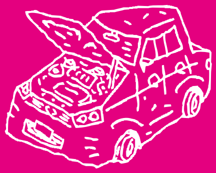
图6.7　抑制声振粗糙的橡胶衬套示意图
为了将前后方向的声振粗糙图像化，我已经将其简化了。但轮胎受到的实际的声振粗糙是作为旋转力传递到衬套的。

汽车悬架的目的不只是提高乘坐舒适度，它最重要的目的是支撑汽车、使汽车直线行驶，并能平稳转向。如果只考虑吸收冲击，使橡胶衬套弹力过大，悬架摆臂就很容易摇晃，从而影响行驶的稳定性。橡胶衬套稳定的硬度能够使汽车平稳行驶，其弹力能够缓和声振粗糙和振动，但这两者很难兼顾。虽说如此，也可以通过改变橡胶衬套中的橡胶进行调整，这就要看悬架生产商们的本领了。如果设计得好，汽车不仅能够在高速公路上安全行驶，还能够提高乘坐舒适度，减轻来自路面接缝的冲击。搭载着这种悬架的汽车驾驶起来会感觉更加高档而且舒适。

① 实际上冲击是从轮胎传来的，所以是以旋转力的身份传递到衬套的。在这里，你只需将吸收前后方向冲击的衬套简略化，以图像的方式印入脑中就可以了。

Column

汽车辟谣



乘坐舒适度高的汽车容易晕车吗？

编辑：我晕车，好痛苦啊。

记者：看不出来啊。你看起来像是那种怎么折腾都不会晕的人啊。

编辑：怎么可能！我酒量小，还容易晕车。可能是因为太喜欢吃甜食的缘故吧。

记者：那我就更意外了。是因为你坐的车不舒服吧？

编辑：才不是！人家说是高档车我才买的。

记者：高档车也会晕车啊。乘坐舒适度也分两种的。

编辑：我还是第一次听说乘坐舒适度还分两种。

记者：以前的美国车通常很柔软，在很长一段时间里都被认为是乘坐舒适度很高的汽车。

编辑：我也这么觉得。难道不是吗？

记者：当然是。但是这种软绵绵的汽车如果在高速公路上行驶，转向时车身就很容易倾斜。车身会突然摇晃起来并且很难平复。

编辑：这样啊。这种状态如果持续存在，人们就会觉得脑袋发麻的。

记者：相反，人们会觉得欧洲车，特别是德国车，坐起来比较硬。

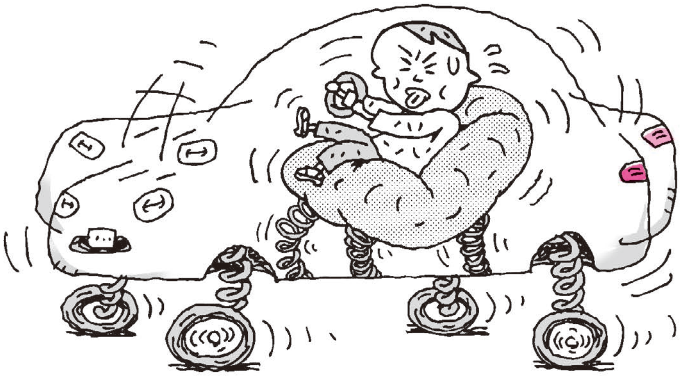
编辑：我也坐过硬邦邦的德国车。大家都说它的乘坐舒适度低吗？

记者：倒也不能这么说。德国高速公路不限速，为了使汽车在时速 200km 以上时仍能安全行驶，就要优先防止车身在转向时倾斜以及振动容易平复。因此，与软绵绵的美国车不同，德国车是硬邦邦的。但实际上硬邦邦的德国车不容易晕车。

编辑：也就是说不让身体摇晃的车最好吧。

记者：但那样的车乘坐起来不舒服啊。

编辑：嗯，还真是这样。但是我喜欢坐软绵绵的车。



记者：乘坐舒适度高的汽车不仅乘坐起来很柔软，还能迅速缓和振动。

编辑：那应该是有两派人，一派喜欢美国车，一派喜欢欧洲车吧。

记者：原来是这样，但最近美国车也致力于高速安全行驶了，还有的美国车宣传说他们已经在德国进行了行驶试验。总之，将能否迅速吸收振动看作衡量汽车乘坐舒适度的标准并致力于生产硬一些的汽车，已经成为了现今努力的大方向。

编辑：不要说得我好像老古董一样！实在是看不惯你们这些年轻人。不过据说最近在乘坐舒适度方面也有了新的方向，而且都在向国际标准看齐。你别光给我讲啊，把这些都写成报道。抓紧时间交稿！

记者：最近无论我跟你说什么你都要我写成报道，是不是你也想读啊？

编辑：是是是，总之快交稿吧。

记者：明白！

第7章

安全性

——多项技术保护人们免受事故伤害

热身问答

阅读正文前，让我们先回答下面的问题来热热身吧。

问题

我们总提到安全，但由于状况不同，所用技术也会有所不同。那么汽车在撞击时所用的安全技术是下列哪一种呢？

1. 主动安全技术
2. 被动安全技术
3. 预碰撞安全技术

答案

2. 被动安全技术

解析

被动安全技术是在汽车发生撞击事故时保护乘车人免受事故冲击的安全技术。主动安全技术是防患于未然的预防安全技术。预碰撞安全技术是提前觉察将要发生事故等危险的情况，将事故损失控制在最小范围内的安全技术。“预”是表示“在……之前”或者“提前”这一意思的前置词。

如果按顺序讲解安全技术，那就要分为事故之前、临近事故和事故之后了，即主动安全技术、预碰撞安全技术和被动安全技术。

本章重点

下面我将要介绍的是汽车搭载的安全技术，分别是防患于未然的主动安全技术、事故不可避免时将事故损失控制在最小范围内的预碰撞安全技术，以及事故后保护乘车人免受冲击的被动安全技术。各项技术都是在相互影响中进步并确立起来的。并且，汽车的传感器技术和电脑控制技术在安全技术中发挥着重要的作用。接下来我将详细介绍这些关键的安全技术。

本章看点

(1)防患于未然的主动安全技术

介绍在事故发生前确保安全的技术，包括 ABS、ESC、制动辅助系统等利用制动器的技术，以及雷达巡航控制系统和车道保持系统等接近于自动驾驶的技术。

(2)事故不可避免时发挥作用的预碰撞安全技术

介绍临近事故时发挥作用、将事故损失控制在最小范围内的预碰撞安全技术。介绍高级汽车常用的预碰撞制动和预碰撞安全带这两项技术。

(3)撞击后控制损失的被动安全技术

介绍事故发生后保护乘客生命的被动安全技术，包括吸能车身、三点式安全带、SRS 安全气囊以及主动式头枕技术。

7.1 防患于未然的主动安全技术

7.1.1 安全技术大体分为三种

首先我想介绍一下为了确保汽车的安全都使用哪些技术。

无论如何，对汽车安全构成威胁的都是事故。那么为了防止事故发生，或者为了减轻事故损失，需要用到哪些技术呢？

大体上分为三种：①防止事故发生的**主动安全技术**；②临近事故时减轻损失的**预碰撞安全技术**；③事故发生时减轻乘车人受伤程度的**被动安全技术**（表 7.1）。其中有以前就有的技术，也有最新技术。还有些技术多搭载在高级汽车上，而小型汽车等价格低廉的汽车却没有搭载。

表 7.1　汽车的主要安全技术

<table>
<tr><th>安全技术的种类</th><th>技术的内容</th><th>主要技术</th><th>搭载情况</th></tr>
<tr><td rowspan="5">主动安全技术</td><td rowspan="5">避免可能引起事故的不安全的行驶状况</td><td>ABS</td><td rowspan="3">搭载在大多数汽车上</td></tr>
<tr><td>ESC</td></tr>
<tr><td>制动辅助系统</td></tr>
<tr><td>雷达巡航控制系统</td><td rowspan="4">搭载在高级汽车上</td></tr>
<tr><td>车道保持系统</td></tr>
<tr><td rowspan="2">预碰撞安全技术</td><td rowspan="2">在事故即将发生时减轻事故损失</td><td>预碰撞制动</td></tr>
<tr><td>预碰撞安全带</td></tr>
<tr><td rowspan="4">被动安全技术</td><td rowspan="4">撞击事故发生时，减轻乘车人的受伤程度</td><td>吸能车身</td><td rowspan="3">搭载在所有汽车上</td></tr>
<tr><td>三点式安全带</td></tr>
<tr><td>SRS 安全气囊</td></tr>
<tr><td>主动式头枕</td><td>也搭载在除小型汽车以外的某些汽车上</td></tr>
</table>

安全技术日新月异，新的技术和装置也不断出现。这里所介绍的基本的安全技术也适用于新技术，今后出现的安全技术也都是这些基本技术的延伸，因此理解了基础也就很容易理解所有的安全技术了。

7.1.2 ABS防止轮胎锁死

首先我将一一讲解主动安全技术中的各项技术，主要包括 ABS、ESC、**制动辅助系统**、**雷达巡航控制系统**和**车道保持系统**。

其中，ABS 是防患于未然的主动安全技术中最基本的技术。ABS 诞生之后，其他的主动安全技术才逐渐构建起来，并且衍生出了临近事故时发挥作用的预碰撞安全技术。因此，我将从 ABS 开始详细讲解。

ABS 是 Anti-lock Brake System 的简称。我们把轮胎在行驶中停止转动称为轮胎锁死，ABS 就是以防止轮胎锁死的制动装置的意思来命名的。

或许你会对“行驶中轮胎停止转动”这种说法感到困惑，会觉得轮胎如果不转了汽车也就不走了。这么想无可厚非，但实际上，紧急制动时轮胎会在路面上打滑，导致轮胎在汽车停止前就停转了。轮胎在路面上打滑，就处于超过轮胎抓地力极限的状态了。

因此为了不超过轮胎的抓地力极限，ABS 就利用电脑调整制动的强度。这种调整使用的是 20 世纪 70 年代诞生的电脑控制技术。

然而，在这种电脑控制技术出现之前，轮胎也会锁死。那么当时是如何处理的呢？

是驾驶员自己代替电脑控制来操作汽车，防止轮胎锁死。当汽车在冰雪路和沙土路等容易打滑的道路上强力制动时轮胎会锁死，进而在路面上打滑，这时驾驶员会感到汽车并没有按预想减速。因此驾驶员会稍稍松开制动踏板，当感到轮胎又恢复了转动时就再次踩下制动踏板。这一动作要在短时间内重复多次，我们称之为**点制动**。

在刚才的讲解中我多次用到“感到”、“觉得”等词语，说明点制动需要用到驾驶员依据感觉的判断，因此并不是谁都能很快掌握的。如果不多加练习、磨练技术，操作起来是相当困难的。如果驾驶员在紧急时刻陷入恐慌，那么就连轮胎打滑时松开制动踏板这个动作都是无法完成的。

因此，利用电脑控制的 ABS 的出现，使得点制动能够泽被万家。20 世纪 70 年代，德国的戴姆勒 • 奔驰公司和同在德国的汽车零件生产商博世公司共同完成了 ABS 的研究开发工作，并投入生产。ABS 诞生的 20 世纪 70 年代，是包括发动机的燃料混合在内，使用电脑控制的车载装置极速增加的时代。

7.1.3 利用电脑自动调节制动器

那么下面我就来详细讲解一下充分利用了电脑控制的 ABS 的结构。

汽车里的电脑通常利用传感器监测汽车的速度和轮胎的转速（图 7.1）。当汽车高速行驶，而轮胎的转速却急剧降低时，电脑就会判断出轮胎可能锁死了。这时即使驾驶员将制动踏板踩到底，ABS 的电脑也会发出减弱制动功能的指示。具体来说，就是降低传递到制动卡钳上的制动液液压，暂时削弱制动效果。这样一来，轮胎的转速就会加快，从而逃离即将锁死的状态。

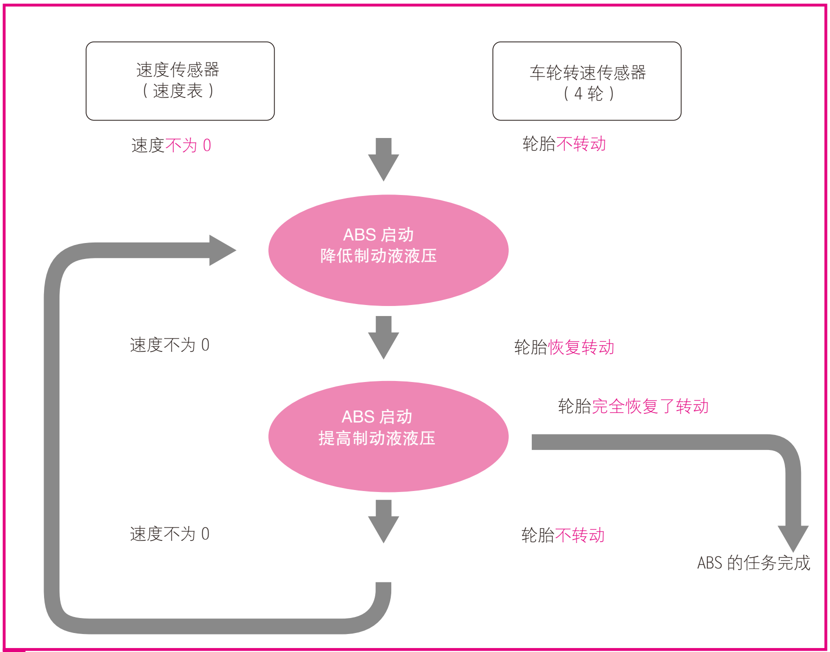


图7.1　ABS的工作流程
利用速度传感器和车轮的转速传感器判断情况，当汽车仍有速度但轮胎不转动时，ABS就会减弱制动。当轮胎恢复转动时，就会增强制动。当轮胎再次停转时，又会减弱振动。ABS就是这样循环往复地进行这一系列操作的。

当轮胎的转速恢复时，就要再次将制动踏板踩到底，强力减速。当轮胎再次因强力制动即将停转时，ABS 又会降低制动液液压，使轮胎恢复转动。ABS 就是这样根据电脑的指示，自动、迅速、多次地重复这些动作的。

ABS 由检测汽车速度和轮胎转速的传感器和电脑构成（图 7.2）。负责获知汽车行驶速度的传感器安装在变速器的输出轴一侧（与差速器相连的一侧），它检测到的速度也会显示在速度表上。负责获知轮胎转速的传感器在四个轮胎上都有，它用来判断轮胎是在转动还是已经停止了。

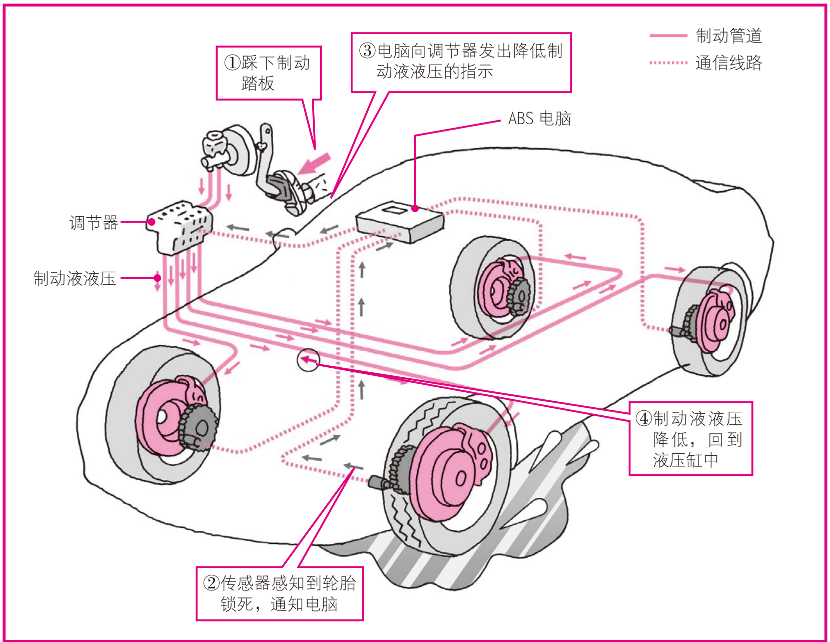


图7.2　ABS的结构

轮胎锁死时传感器会通知电脑，由电脑指示调节器降低制动液液压。制动液液压降低后就会回到液压缸中，之前锁死的轮胎制动强度减弱，就会脱离锁死状态。

ABS 中电脑的安装场所因车而异，但大都靠近车身正中央，这是因为在正中央能够使其免受汽车行驶中的振动和热的影响。电脑负责管理来自各个传感器的信息，判断轮胎是否处于即将锁死的状态，然后将信号传递到**调节器**，从而加减制动液液压。

调节器是一个总称，负责控制装置的运动，发动机和起动机也可以说是广义上的调节器。ABS 里的调节器是调节制动液液压的装置，负责减小或增大液压。它位于制动主缸的前端，制动管道从此处连接到各个轮胎。

当驾驶员踩下制动踏板时，制动主缸内的活塞就会下压，致使制

动液液压升高。升高后的液压传递到四个轮胎，带动安装在各个轮子上的制动卡钳的活塞运动。接着，卡钳内的制动垫压紧制动盘实施制动。这个制动流程就像我在第 5 章中讲到的一样。

我再重复一遍，当驾驶员紧急制动轮胎即将锁死时，电脑会通过由传感器感知到的轮胎转速和汽车速度判断出轮胎接近锁死状态。此时电脑会向调节器发出指示降低制动液液压，随后轮胎恢复转动，转速逐渐与汽车速度平衡。

电脑通过传感器得知轮胎的转速恢复正常后，再指示调节器提高制动液液压，这样就复原了制动液液压。

在 1 秒钟之内，ABS 会将这些动作重复数次，期间即使驾驶员一直踩在制动踏板上也无妨。无论驾驶员如何驾驶，电脑控制都会全程管理并执行。因此当遇到紧急情况时，驾驶员只要强力踩下制动踏板就可以使汽车安全地停止。

电脑和传感器之间使用CAN（Controller Area Network）这种车载机器间的网络进行信息传递。通过使用传感器和电脑进行相互通信，不仅能够迅速传递信息，还能减少线路的数量。除汽车之外，CAN 还被广泛应用在铁路、工厂和医疗器械上。

7.1.4 踩住加速踏板时ESC发挥作用

下面我想介绍一下被称为 ESC 的安全技术。ESC是 Electronic Stability Control 的简称，是利用电子控制保证行驶安全性的装置。ABS 是在紧急时刻汽车紧急制动时发挥作用，而 ESC 是在踩住加速踏板时发挥作用的。

比如当汽车因速度过快而无法彻底转向时，ESC 就登场了，并且

ESC 是因 ABS 的普及而出现的。ESC 使用了三种传感器，分别是与 ABS 同样安装在四个轮子上的转速传感器、测量驾驶员转动方向盘角度大小的传感器以及检测汽车是否在旋转的**横摆率传感器**。

当汽车速度过快时，就无法彻底转向。传感器通过轮胎的转速可以得知汽车的速度，通过方向盘的角度可以得知转角角度的大小。一旦超速，轮胎就会超过抓地力的极限陷入空转状态，随后开始打滑。电脑通过与其他轮胎的转速相比较，发现打滑的轮胎的转速急剧加快，就会意识到此轮胎是在打滑（图 7.3）。

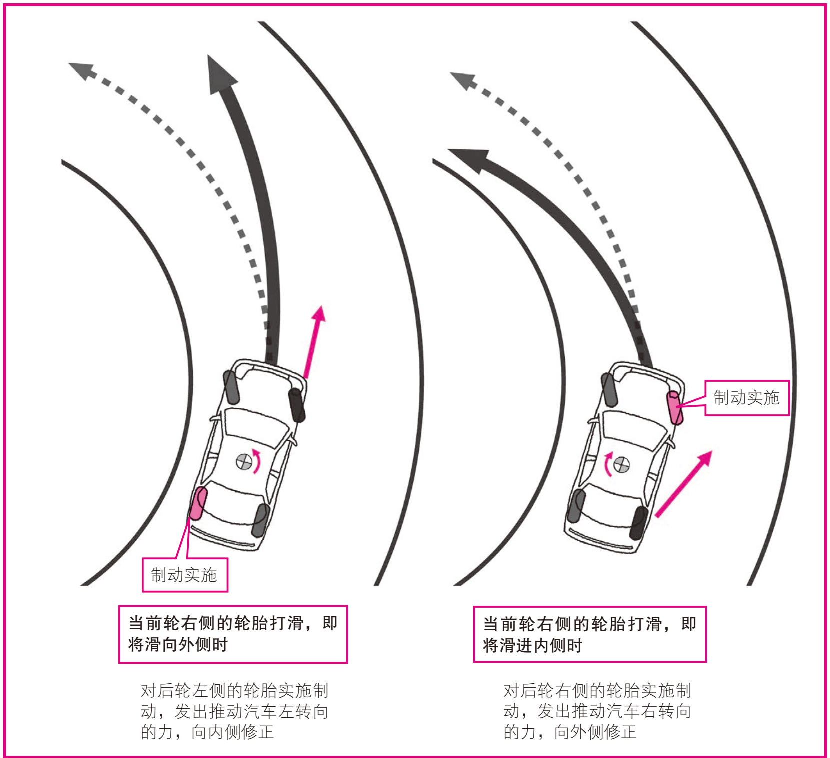


图7.3　ESC的工作实例
当汽车打滑时一个轮胎会自动制动以控制其打滑

这样一来，汽车就无法彻底转向，进而滑离路面了。由于此时汽车处于危险状态，因此加装了 ABS 的四个轮子上的制动器就都会启动。借助这一功能，即使驾驶员踩住加速踏板也能制动。

利用 ESC 制动的轮胎只有一个。当汽车即将滑向转角外侧时，实施制动的是转角内侧的后轮。这是因为汽车转小弯的力会以实施制动的轮胎为中心发挥作用。

与之相反，当汽车即将滑进转角内侧时，只有转角外侧的前轮实施制动。接着，旋转力施加给外侧，起到修正行驶路线的作用。并且，实施制动后汽车的速度也会降低，轮胎也容易恢复抓地力。

当汽车以极高的速度行驶时，即使利用 ESC 实施制动也可能无法抑制轮胎打滑。此时即使驾驶员踩住加速踏板，也会因发动机中火花塞点火时间的推迟而减弱混合气体的燃烧，从而强制性减小发动机力的输出。

汽车平稳转向后，轮胎就会停止打滑，方向盘也回归原位。此时电脑会根据从轮胎转速传感器和方向盘角度传感器得到的信息，判断出汽车已经完成了转向。接下来，电脑会按照驾驶员踩下加速踏板的程度进行加速。

不仅是转向，ESC 在直线行驶时也会发挥作用。例如当汽车发动、轮胎空转时，ESC 会强制性地减小发动机力的输出，等待轮胎恢复抓地力。在雪天等路面湿滑的时候，也能感受到 ESC 的这种作用。

7.1.5 紧急时刻借助制动辅助系统增强制动效果

制动辅助系统是在遇到需要紧急制动等紧急时刻时，辅助驾驶员实施制动的装置。

事故调查显示，很多驾驶员都在紧急时刻无法充分实施制动。遇到事故时，他们大多会陷入恐慌，缩手缩脚，无法强力踩下制动踏板。其实，力气较小的人即使在平时制动时，也常常会出现无法突然强力踩下制动踏板的情况。因此，制动辅助系统出现了。

当电脑判断出“驾驶员突然踩下了制动踏板，但力度不够大”时，就会自动增大制动液液压，实施强力制动。

我在讲解 ABS 时说过，ABS 具有自动控制制动器的结构。制动辅助系统在使用了 ABS 的这种制动器控制技术的同时，还追加了增大制动液液压的功能。但为了判断出驾驶员“突然踩下了制动踏板”，还需要检测踩下制动踏板的速度。

在日常驾驶中，通常无需突然踩下制动踏板。例如当遇到红灯需要制动时就无需紧急制动，只要慢慢增加踩踏力度就可以了。但紧急时刻制动踏板会快速移动，制动辅助系统就能借助传感器感知其移动速度的差异，再通过电脑进行判断。

7.1.6 接近于自动驾驶的雷达巡航控制系统

之前介绍的 ABS、ESC 和制动辅助系统都是广泛应用于大多数汽车上的安全技术，而接下来要讲解的雷达巡航控制系统和车道保持系统一般只配备在高级汽车上。

首先是**雷达巡航控制系统**，它使汽车高度接近于自动驾驶。**巡航控制系统**利用轮胎转速传感器检测速度，通过控制油门的开闭程度来保持速度。20 世纪 50 年代后半期，美国的克莱斯勒公司[①] 首次采用了这一技术，因其方便性受到了美国民众的热烈欢迎。在道路笔直、悠

① Chrysler 是美国著名汽车公司，同时也是美国三大汽车公司之一。——译者注

长、宽阔的美国，汽车之间很少相遇。车道保持系统使得驾驶员即使不踩住加速踏板也能以一定的速度行驶。

但在日本和欧洲，即使是在高速公路上也需要频繁调整车间距。因此，就出现了既能保持一定的速度，又能安全地确保与前车保持间距的巡航控制系统。那就是雷达巡航控制系统。

系统中所用的雷达是波长为 1mm~10mm 的**毫米波雷达**，使用这种雷达是因为它在雨天也能工作。毫米波雷达的电磁波不会被雨滴大小的物体扰乱，但遇到雾等细小颗粒时会反射，因此雷达巡航控制系统在雾天无法工作。

毫米波雷达发射出的电磁波会从前方车辆反射回来，用于测量车间距。当电脑判断出车间距过小时，会关闭发动机的油门，减少力的输出，自动减速。当前方车辆突然减速时，它也会充分利用 ABS 和 ESC 实施制动，调节速度。

但交通管理部门是不允许完全意义上的自动驾驶的，这是因为驾驶员在发生事故时负有责任。因此，应该在需要紧急制动等与前方车辆的车间距过小时，点亮警示灯并鸣响警报，以此通知司机自行实施制动。

7.1.7 借助摄像头识别车道标记线的车道保持系统

车道保持系统的功能是帮助汽车沿着车道标记线行驶，防止其越到相邻车道。

CCD 摄像头用于识别标记线。电脑根据摄像头传来的路面情况图像检测车道标记线，防止汽车脱离行驶车道。具体来说就是加强动力

转向系统的操作辅助力，以使汽车在标记线内行驶。为了使汽车能够根据电脑的指示迅速加减操作辅助力，需要用到使用电动机作为动力的电动式动力转向系统。

汽车生产商们并不是要将车道保持系统设计成完全意义上的自动驾驶，而是致力于让握着方向盘的驾驶员不脱离行驶车道。它并不是利用动力转向系统自动改变前进路线，而是比平时加强了帮助驾驶员转向的辅助力。

然而现状是，人眼能够轻易地分辨白色的标记线和路上的垃圾，电脑却很难通过摄像头图像加以区分。如果电脑混淆了白线和垃圾，引导汽车越过了标记线，反而会引发事故。不仅是垃圾，阳光在路面上的反射以及倒映在水洼里的影像都可能使电脑判断失误。因此为了保证安全性，需要准确的、高性能的图像分析，而这样的装置费用也极高。

7.2 临近事故时发挥作用的预碰撞安全技术

7.2.1 在即将撞击时制动

即使采取了各种安全措施，事故也会发生。预碰撞安全技术是在事故不可避免时采取措施，竭力减轻损失的安全技术，包括**预碰撞制动**和**预碰撞安全带**这两项技术。

预碰撞制动是在汽车即将与前方汽车或障碍物发生撞击时实施紧急制动，以控制撞击瞬间的速度。它使用了之前介绍过的 ABS、毫米波雷达和制动辅助技术。

首先，它利用 ABS 的传感器检测汽车的行驶速度，同时利用毫米波雷达（或车道保持系统所使用 CCD 摄像头）测定汽车与前方汽车或障碍物的距离，随后电脑利用制动辅助系统中的传感器得知驾驶员是否踩住了制动踏板。

当汽车速度过快、与障碍物之间的距离急剧缩小时，如果驾驶员仍踩住加速踏板而没踩下制动踏板，电脑就会意识到汽车正面临着危险。此时电脑就会通过警报和警告标识催促驾驶员实施制动。如果驾驶员仍未实施制动，制动辅助系统就会开始工作，自动实施紧急制动。如果不实施制动，仍可以在发生重大撞击事故时将损失控制在一定范围内。

然而如果控制汽车使其完全不发生撞击的话就变成自动驾驶了，这是国土交通部所不允许的。因此预碰撞制动只是降低速度，将损失控制在最小范围内的安全技术。

7.2.2 临近撞击时收紧安全带

预碰撞安全带与预碰撞制动并用，是在即将发生撞击时收紧安全带，让乘车人的身体紧贴在座椅上以充分发挥安全带的作用。

在撞击之前，它与预碰撞制动一样会判断状况。当最终无法避免撞击时，这一技术会利用安全带上配备的电动机收紧安全带。关于安全带的详细结构，我会在之后介绍三点式安全带中进行讲解。

在借助预碰撞制动大幅度降低了车速后，预碰撞安全带会紧紧固定住乘车人的身体，极力减小撞击后的受伤程度。

7.3 撞击后控制损失的被动安全技术

7.3.1 既易变性又坚固的吸能车身结构

当汽车发生撞击事故时，必须尽量保护乘车人免受冲击，这就需要用到**吸能车身结构**、**三点式安全带**、**SRS 安全气囊**以及**主动式头枕技术**，接下来我将一一进行讲解。

为了使乘车人免受事故的冲击，需要车身发挥两个作用。第一个是尽量减小撞击带来的冲击力，第二个是利用其坚固性保护乘车人的安全。

即使汽车是以时速 20km~30km 的低速行驶，发生撞击事故时也会产生很大的冲击力。如果没系安全带，乘车人的身体就会强烈撞击到驾驶室的某个地方。因此为了尽量减小冲击力，需要使车身容易变形。但如果车身太过容易变形的话，就会引起驾驶室的变形，无法保护乘车人的安全。

为减小撞击的冲击力使车身容易变形的要求，和为保护乘车人安全使车身比较坚固的要求恰恰相反，而**吸能车身结构**能够同时满足这两项悖论式的要求。

首先，在吸能车身结构中，为了缓和冲击力，车身前后设计成了易变形的区域。具体来说，就是像手风琴中装配了风箱一样，车身框架有强有弱（图 7.4）。如果不仔细看，就很难分辨出哪里强哪里弱，但总体效果很明显，就像把类似于风箱的物体嵌入纸箱中时纸箱也很容易变形一样。

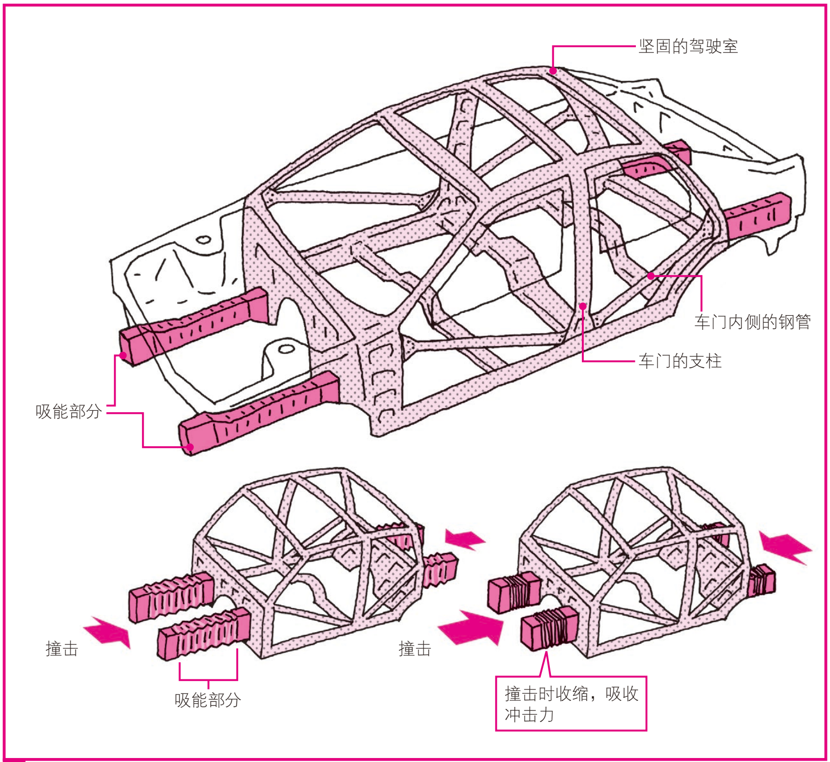


图7.4　吸能车身结构
具有坚固的框架和类似于风箱的车身结构。风箱部分吸收冲击力，使乘车人免受强烈的冲击。

实际上在汽车中，车身前端的发动机室和后端的后备箱都采用了类似于风箱的吸能车身结构。最常见的撞击事故是正面撞击，其次是侧面撞击和后方追尾。在占据很大比例的正面撞击和后方追尾中，汽车利用吸能车身结构的收缩变形，能够在一定程度上吸收撞击的冲击力。

那么，发生侧面冲突时该怎么办呢？车门与座椅平行，车门与人之间几乎没有空间，因此无法加入风箱结构。即便如此也需要尽量增

大空间。并且，为了将撞击车门的冲击力分散到整个车身，就需要在车门内侧安装坚固的钢管。而且还要利用车门的支柱将冲击力分散到车顶和底盘。因此，汽车生产商们通过增加驾驶室框架的坚固性，使驾驶室不易变形。

如上所述，吸能车身结构就是在使车身前后容易变形的同时加固驾驶室周围的框架。

7.3.2 三点式安全带利用急减速的趋势固定

三点式安全带满足了两个要求：①不给上下车带来不便；②撞击时能牢固约束乘车人的身体。它是在 1959 年由瑞典的沃尔沃公司开发出来的，但由于没有获得专利，因而能为全世界的汽车生产商使用。

使用一根十字交叉的安全带，就几乎能将身体完全约束在座椅上，但仅用十字交叉的安全带会让乘车人感到不适。例如当驾驶员在开车时想要挪动身体去调节音响的音量或者空调的温度时，就会觉得很不方便。因此需要根据体型的差异调节安全带的长度。

这就促进了ELR（Emergency Locking Retractor）的出现。通常，乘车人是利用弹簧的力轻拉安全带使其紧贴身体。由于安全带可以轻易拉出，因此乘车人就可以自由移动身体。一旦发生撞击，安全带会因汽车的突然减速而固定，将乘车人的身体固定在座椅上。

撞击时为了固定安全带，需要用到振动子。在撞击等情况下急减速时，人的身体会前倾，此时安全带也会被拉出。为了防止这一现象，汽车生产商们在安全带的收卷器内安装了振动子。当汽车急减速时振动子也会倾斜、锁住收卷器，从而防止安全带被拉出（图 7.5）。

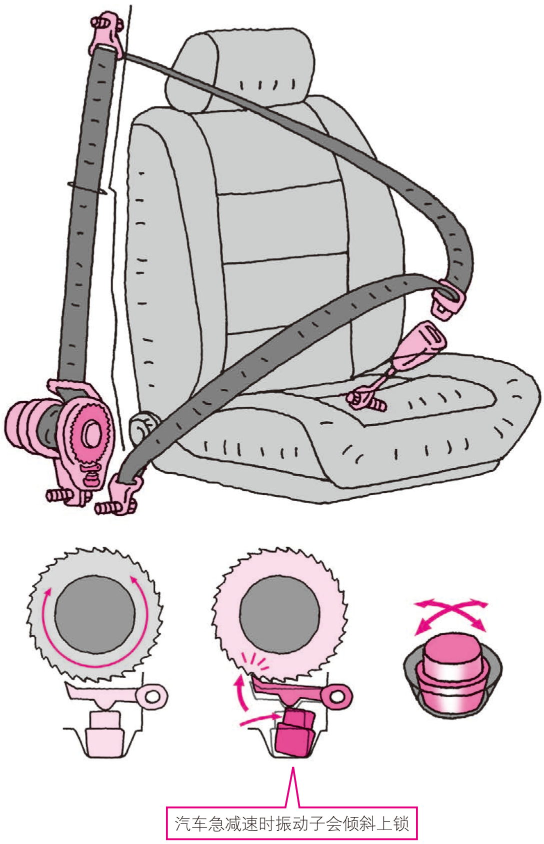


图7.5　三点式安全带的结构
汽车急减速时安全带收卷器内的振动子会倾斜上锁

振动子的一侧是像锯齿一样的卡口，另一侧是凸出部分倾斜的收卷安全带的滚子。平时卡口部分不上锁，只有在急减速时，被卡口压着的杆才会因振动子而嵌入锯齿中，使收卷滚子停止转动。

继沃尔沃公司开发出了三点式安全带之后，安全带技术不断发展，

相继出现了**预紧式安全带**、**限力式安全带**（也叫**负载限制器安全带**）等新式安全带。预紧式安全带是在发生撞击时引燃火药，借助其趋势强力收紧安全带，将乘车人的身体固定在座椅上。限力式安全带是在撞击之后稍稍松开安全带，以防止身体被安全带约束得过紧。

这样一来，安全带就能在尽量减小乘车人身体负担的同时，保证发生事故时仍能牢固地将乘车人的身体固定在座椅上。一旦发生撞击事故，汽车就会受到严重损伤，而安全带的这一功能，就是防止损伤波及到乘车人。

7.3.3 SRS安全气囊能够感知冲击力从而膨胀起来

安全气囊利用气体使气囊膨胀，在汽车发生撞击时保护因撞击而大幅移动的上半身。即使安装了三点式安全带，受到强烈冲击后上半身也会大幅移动，因此就需要用到安全气囊。由于安全气囊是在三点式安全带的基础上发挥作用的辅助装置，因此它还有SRS（Supplemental Restraint System，**辅助可充气约束系统**）这一别称。1980年，梅赛德斯•奔驰首次使用了安全气囊。

SRS安全气囊的气囊由尼龙制成，叠放在方向盘的中央（通常是在喇叭按钮处）、仪表盘、座椅旁边以及车顶两侧等处。当发生正面撞击或侧面撞击时，安全气囊会在撞击发生的一侧打开。

感知撞击的传感器安装在保险杠附近和车内。当这些传感器感知到撞击时，安全气囊内的火药就会爆裂，使氮气瞬间充满尼龙气囊。之所以使用氮气，是因为氮气是惰性气体，即使在发生火灾时也不会燃烧。在保护了乘车人上半身不受冲击之后，安全气囊就会迅速收缩。

这一系列的动作都是瞬间执行的，因为如果不迅速展开安全气囊，就无法阻止冲击。

7.3.4 保护头颈部的主动式头枕技术

主动式头枕是座椅上支撑头部的部分，发生撞击时能够保护乘车人的头颈部。当汽车发生追尾时，乘车人的身体前倾而头部后仰，因而可能造成鞭抽式损伤（颈椎的过度屈伸损伤）。即使配备了三点式安全带和 SRS 安全气囊，仍有可能造成这一损伤，因此就需要头枕具有防止头部过分后仰的功能。

说到头枕，你可能会想到我们平时睡觉用的枕头，但头枕的词源是头部保护装置，意味着它具有保护功能。头枕并不是靠垫。

主动式头枕是在追尾时使头枕向前移动的装置，这样一来，就能利用头枕的前凸保护后仰的头部。

追尾时身体之所以会前倾，是因为倚靠在座椅椅背上的身体被前推。从座椅方向看，就会发现乘车人的身体是被紧紧固定在座椅椅背上的。如果用杠杆原理来解释，就是利用身体因倚靠座椅椅背而被前推的力，将椅背中头枕的支柱随着这股力量向前移动。这样一来，头枕就能接触并支撑住乘车人的头颈部，从而防止鞭抽式损伤。

Column

汽车辟谣



即使有发达的安全技术也无法减少事故吗?

编辑：如今的汽车已经相当安全了呢。

记者：是啊，导致死亡的事故也大幅减少了。

编辑：本来就是嘛，日本的汽车技术可是不容小觑呢。我的那辆高级车为了不撞到前面的车，还加装了摄像头，还有 ABS 和 ESC。怎么样？很厉害吧？羡慕吧？

记者：是是是。但安全技术的进步虽然减少了导致死亡的事故，但遗憾的是，事故数量本身并没有减少，相反还增加了。

编辑：什么？！这到底是怎么回事？

记者：大概是因为技术的进步，人们越来越傲慢的缘故吧。觉得一定不会有事的。

编辑：不是一直都这样吗？别绕弯子了，快给我详细讲讲。

记者：你老是这么容易生气……我明白，我明白。就是说虽然现在汽车运用了各种安全技术，但人们的态度越来越不积极，就很容易发生事故。

编辑：再说得具体一点呢？

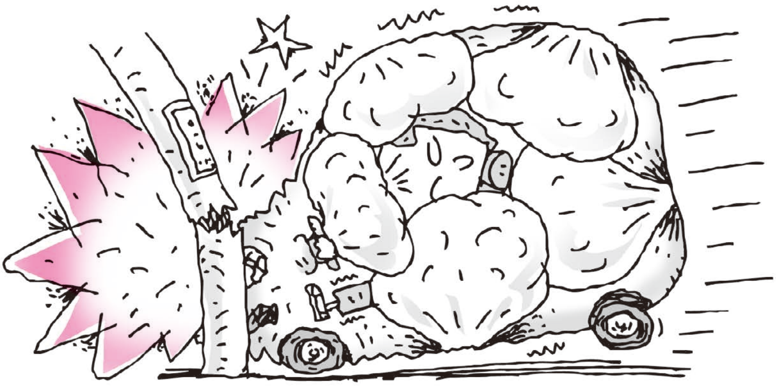
记者：比如说，即使汽车搭载了 ABS 和 ESC，轮胎上的花纹沟磨损后也无法躲过事故。下雨时磨损后的轮胎容易打滑，即使启动了 ABS 和 ESC 也可能发生事故。

编辑：ABS 和 ESC 有那么不靠谱吗？要是那样的话可不行。我家的车很贵呢。

记者：不不，不是那样。汽车在雨天越过水洼时，轮胎会浮在水洼上。这样一来即使有 ABS 和 ESC，轮胎也会打滑。它们不是万能的。

编辑：是这样啊，那该怎么办呢？难道好不容易入手的高级车就没法安心开了吗？

记者：汽车上配备的安全装置是



在假设轮胎是全新的情况下开发出来的。驾驶员们都要养成驾驶前检查的习惯，留心轮胎上花纹沟的磨损程度和轮胎的空气压。并不是说有了 ABS 和 ESC 后，驾驶员就可以高枕无忧了。

编辑：原来是这样啊，也就是说汽车也是需要维护的啊。

记者：是啊，并且也不能因为有了安全气囊就完全放心了。

编辑：为什么没法放心啊？有了安全气囊，即使发生事故，不是也能幸免于难吗？

记者：你说得对，发生事故时安全气囊的确能够提高存活率。但如果撞击的冲击力过大，即便有再多的安全气囊，也不能保证完全不受伤。

编辑：是啊，受伤是很疼的呢。

记者：还说疼，你又不是小孩子……不仅是疼啊，还有可能跑门诊或者住院呢。所以驾驶员的安全驾驶至关重要。

编辑：人们的安全意识也会在很大程度上影响行车的安全。驾驶技术虽然也很重要，但提高每个人的安全意识也是不可忽视的。

记者：是啊！

编辑：我开车也是很安全的哟。

记者：是是。

第2部分

新一代汽车篇

各种新一代汽车的出现意味着取代汽油动力车的可能性。在第 2 部分中，我就将介绍这些新一代汽车。在第 8 章中，我将对比汽油动力车的不同，讲解电动汽车的行驶结构。在第 9 章中，我会介绍混合动力汽车、燃料电池车以及氢动力车等利于环境保护的新一代汽车。

第8章

电动汽车

——用电启动电动机驱动汽车

热身问答

阅读正文前，让我们先回答下面的问题来热热身吧。

问题

下列哪个零件决定了电动汽车能够连续行驶的最长距离？

1. 电动机
2. 蓄电池
3. 变频器

答案

2. 蓄电池

解析

决定电动汽车能够连续行驶最长距离的是蓄电池的容量，即最长行驶距离由蓄电池中存储的电量决定。

电动汽车利用蓄电池的电启动电动机，借助其旋转力驱动电动汽车。变频器用于调节从蓄电池流入电动机的电量，能够加减汽车的速度。

本章重点

在本章中，我将介绍新一代汽车——电动汽车。与之前燃烧汽油的汽油动力车不同，电动汽车仅靠电驱动。但不同点不止这一处，而两者还有相同点。在讲解电动汽车结构的同时，我会将其与汽油动力车相比较，还会提到电动汽车的行驶状态。我还会介绍它与汽油动力车在转向和停车等方面的不同点。

本章看点

(1)电动汽车与汽油动力车的区别

一边与之前讲到的汽油动力车做比较，一边介绍电动汽车的结构。电动汽车是用电动机而不是用发动机产生旋转力的，除此之外还有很多不同点。我将概括介绍电动汽车。

(2)利用变频器和电动机产生旋转力

介绍电动汽车的重要装置——变频器和电动机的结构。电动汽车利用两者产生强劲、稳定的驱动力，还利用了汽油动力车上无法使用的再生功能以降低能源消耗。我将介绍这一再生功能。

(3)轮毂电机的结构

详细解释在每个轮胎上都配备的电动机用轮毂电机的结构。轮毂电机是电动汽车特有的装置，意味着设计出全新汽车的可能性，而这种汽车完全不同于汽油动力车。

(4)锂离子电池的特征

高性能锂离子电池的存在促成了电动汽车的实际生产。我将介绍锂离子电池的特征。

8.1 电动汽车与汽油动力车的区别

8.1.1 电动汽车的零件比汽油动力车少

汽油动力车和**电动汽车**（**EV，**Electric Vehicle）的区别究竟在哪里呢?

首先，电动汽车是由电而不是发动机驱动的，因此几乎没有与发动机相关的零件。在电动汽车中，不需要发动机、变速器、汽油罐、燃料管道、燃料泵、燃料喷射装置、点火装置（火花塞）、进排气管、汽车尾气净化器以及消除废气噪声的消音器等零件。

代替它们的是一些电气元件，具体来说就是用电产生旋转力的**电动机**、储存电的**蓄电池**、用于控制的**变频器**和充电器等零件（图 8.1）。

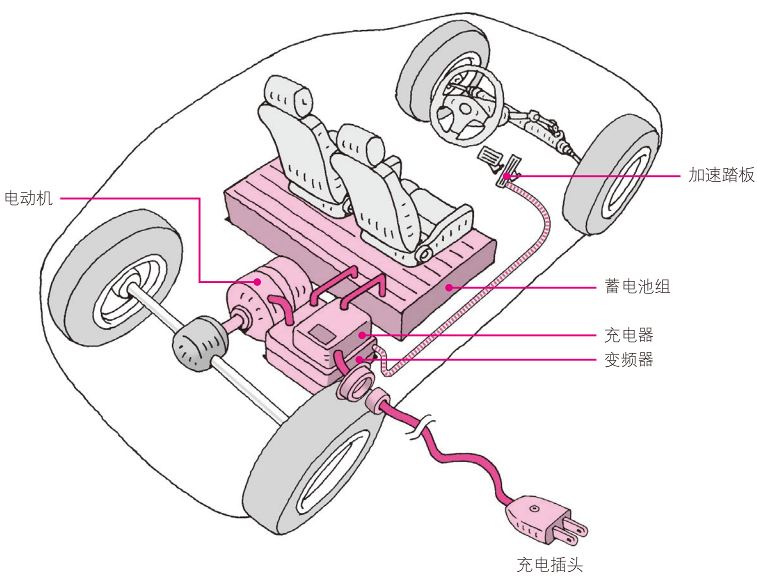


图8.1　电动汽车的构成
由蓄电池、电动机、变频器等零件构成。

我们已经了解到电动汽车的零件是很少的，并且，电动汽车还运用了在汽油动力车中无法想象的创造性成果。例如，在电动汽车中通常使用一个电动机代替发动机，也可以在左右驱动轮上各安装一个电动机，或者给四个轮子都装上电动机。而汽油动力车是用一个动力（发动机）产生旋转力，利用其旋转力驱动后轮或前轮。这样一来，借助整个车身上的装置搭载方式以及配置和行驶的方式，与汽油动力车相比，电动汽车的自由度更高。并且，由于各个电动机都能自行调整转速，因此电动汽车就不需要配备汽油动力车必备的差速器。

虽然电动汽车和汽油动力车同为汽车，但电动汽车能够让人们从全新的角度重新看待汽车。其中就包含了电动汽车的独特性，这一点我将在本章的后半部分讲解。下面我们先来看一下电动汽车从静止到发动时的状态。

8.1.2 即使按下了按钮仍处于静止状态

无论是电动汽车还是汽油动力车，驾驶员最初的操作都是一样的。即坐在驾驶座上转动点火钥匙，或者按下启动按钮。

但接下来的操作两者就有所不同了。在汽油动力车中，发动机启动后随即开始怠速。而在电动汽车中，即使按下了按钮，也只是在仪表盘上显示出READY，电动机仍处于静止状态。此时，电动汽车与按下按钮前的状态没有任何区别，电动机仍未开始工作，也不会像汽油动力车一样开始怠速。

即使按下了按钮也与未按之前状态相同，电动机既没有声音也没有振动，汽车仍然处于静止状态，初次见到这种场面的人可能会感到有些不快，初次驾驶电动汽车的人甚至会陷入恐慌，这都是因为不了

解汽车的驾驶方法。或许你会觉得我说得有些夸张，但事实上在试乘电动汽车时常会遇到这种情况。

由电和发动机共同驱动的**混合动力汽车**也是如此。在混合动力汽车中，汽车停止时发动机也停止了怠速，因此即使转动了点火钥匙，汽车仍然会处于静止状态。由于很多驾驶员会感到困惑，因此丰田在最早销售普锐斯[①]时会解释道:“发动机不启动并不意味着出现了故障。”也有的混合动力汽车在转动了点火钥匙后发动机会开始怠速，这一般出现在电池的电量较少或者需要启动空调的动力时。通常情况下在混合动力汽车中，即使做好了行驶准备发动机也不会启动。

此外，燃料电池汽车作为电动汽车的好伙伴，即使接入了主电源并做好了行驶准备，也会处于静止状态。它与电动汽车一样，也是依靠电动机驱动的。

接下来我们再回到电动汽车的发动上。

8.1.3 根据加速情况调节输送到电动机中的电量

在确认仪表盘上显示了 READY 之后，驾驶电动汽车的驾驶员就可以像驾驶汽油动力车时一样，将变速杆从 P（停车挡）拨动至 D（前进挡）。随后踩下加速踏板，电动汽车就发动了。下面我们就来详细看一下电动汽车从静止到发动的一系列动作（图 8.2）。

当驾驶员踩下加速踏板时，安装在踏板上的传感器就会检测到踏板的移动量。传感器将移动量的数据传递到电脑，电脑向变频器发出指示。随后，变频器根据电脑发出的指示，决定要将多少蓄电池发出

① Prius，丰田汽车公司的一款混合动力汽车，2006 年 1 月在中国上市。油耗低，适合城市使用，环保性能好。——译者注

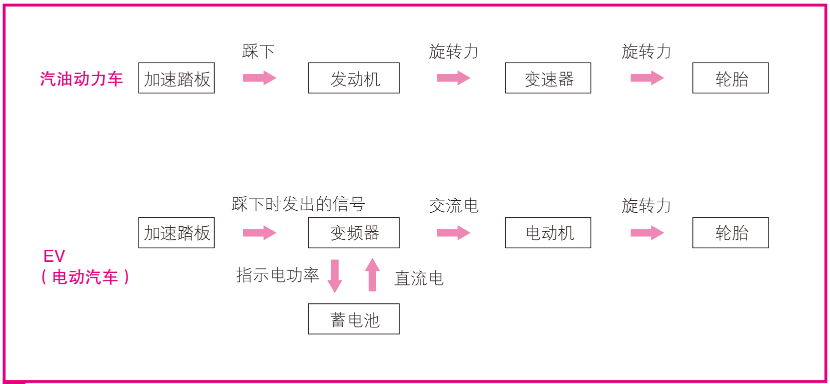


图8.2　汽油动力车和电动汽车(EV)的不同
从踩下加速踏板到轮胎开始转动。电动汽车将电流从变频器输送到电动机，从而产生旋转力。

的电传递到电动机。轻轻踩下加速踏板时只有少量的电通入电动机，而用力踩下加速踏板时就会有大量的电通入电动机。

电动机根据蓄电池送来的电量加减转速，随后旋转力被传递到轮胎驱动汽车。再稍稍踩下加速踏板时，电量就会增加，电动机的转速也会逐渐提高，从而加快汽车的行驶速度。

而汽油动力车的顺序是：当驾驶员踩下加速踏板时，与发动机的汽缸相连的吸气管上的油门就会开启，使得空气流入其中。在此过程中汽油作为燃料被喷射出来，空气和汽油的混合气体进入到汽缸中。接着，活塞压缩混合气体并用火花塞引燃，混合气体开始燃烧。极速燃烧推动活塞下压，促使发动机产生驱动力驱动汽车前进并加速。同样是踩下加速踏板，汽油动力车是通过这一动作增加空气量，而电动汽车则是增加通入电动机的电量。

电动汽车依靠加减电功率发动和加速。电功率是用瓦特（W）表示

的值，等于电压（V，伏特）与电流（A，安培）的乘积。如果在电功率相同的情况下提高电压，电流就会减小，电阻也随之减小，这样就能高效地输送电流。因为发动沉重的电动汽车需要很大的力，所以在汽车发动时需要提高电压。虽说如此，但也不能无限度地提高电压，因此随后就要在调整电压和电流的同时调整电功率，使电动汽车达到最高效的行驶状态。在驱动电动汽车行驶的技术中，电功率的控制起着关键性的作用。并且它在减速时也会发挥作用，这也是我会在之后讲到的再生功能。

以上就是电动汽车从静止直至发动的一系列动作的概述。接下来我将详细解释电动汽车特有零件——变频器、电动机、蓄电池等——的结构和功能。

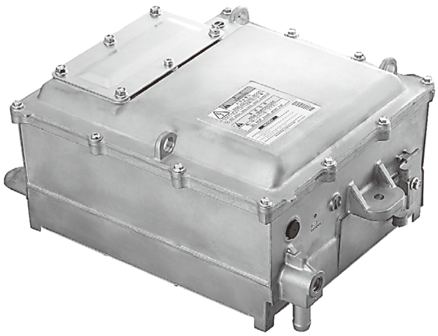
8.2 利用变频器和电动机产生旋转力

8.2.1 变频器负责转动电动机

首先，我想从**变频器**的功能讲起，它发挥着将电传递到电动机的重要作用（照片 8.1）。你或许没怎么听过变频器这个词，但如果说到从 20 世纪 80 年代开始使用的家用变频空调，你可能就比较熟悉了吧。

变频器有两个功能。一个功能是转换直流电和交流电，另一个是根据电器的工作状况精确调整电功率。

首先我来解释一下直流电和交流电的转换。电动汽车是由储存在蓄电池里的电来驱动的，蓄电池放出的电是直流电，而电动汽车上的电动机是由交流电带动的。因此，在将蓄电池放出的直流电接入电动机之前，要利用变频器将其转换成交流电。



照片8.1　一种变频器
照片由三菱汽车提供

接着我再来讲一下电功率的调整。电动汽车的变频器与家用的变频空调理念相同。变频器不仅能够切换电源开关，还能根据电器的工作情况精确调整电功率。

过去的家用空调，要么打开，要么关上，也就是说只能选择开和关的其中一个。变频空调出现后，就能通过改变交流电频率调整电功率，从而调节空调的工作情况，即空调能够按照设定好的室温工作。变频空调作为节能空调，与一旦开启就只能最大限度工作的旧式空调完全不同。

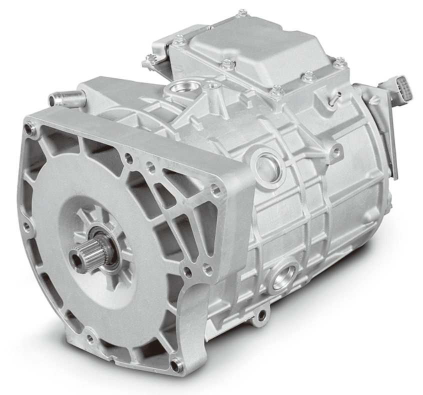
电动汽车也能通过变频器控制电功率来改变电动机的转速，调整加速的程度。当改变了电动汽车中电动机的转速时，变频器也会改变交流电的频率，使蓄电池放出的电量发生变化。频率升高，放出的电量也会增加，从而带动电动汽车加速。

8.2.2 交流电动机的结构

接下来我将介绍电动汽车的关键部分——**电动机**，它的结构比发动机简单得多。磁铁有正极（+，N 极）和负极（－，S 极）且同极相斥，电动机正是利用了磁铁的这一性质带动轴旋转。

电动机里的磁铁，有永久磁铁和电磁铁的组合，也有单独使用电磁铁的情况。接下来，我将以实际中电动汽车所用的永久磁铁和电磁铁的组合为例进行讲解。

电动机呈圆柱形（照片 8.2），中心有一根旋转轴，轴周围是圆柱形的结构。旋转轴上的永久磁铁左右是正极和负极，圆柱形结构的内侧装有电磁铁（图 8.3）。当旋转轴上的永久磁铁和圆柱形内侧的电磁铁同极时，就会相互排斥，带动轴旋转。旋转到一半时，轴上的磁铁和圆柱形上的磁铁就变成异极相对了，此时它们相互吸引，轴也就停止转动了。这样看来，如果轴只旋转一半，电动机是无法持续工作的。



照片8.2　一种电动机
照片由三菱汽车提供

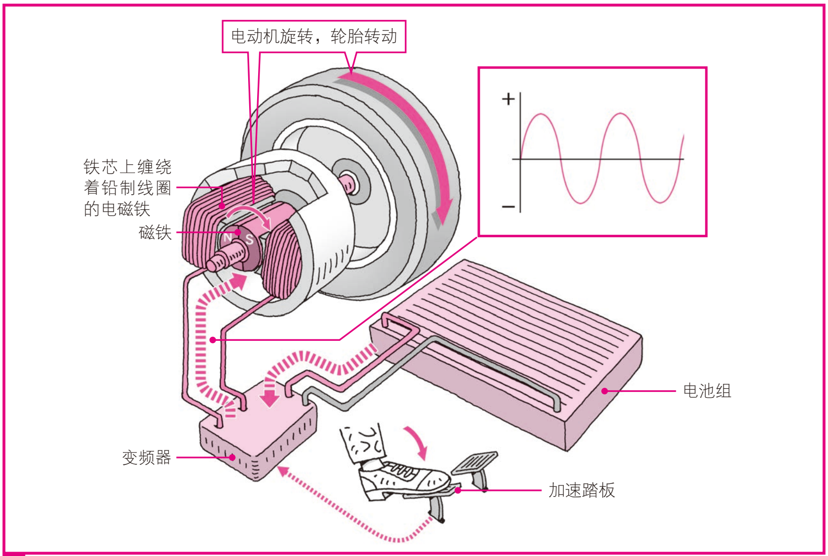


图8.3 电动汽车搭载的交流电动机的结构
利用变频器将蓄电池的电流转换成交流电，通入电动机，带动轴旋转。

因此将电磁铁和交流电组合起来是比较方便的。交流电能够时常变换正负极，如果给电动机通入交流电，电的流动就能变换电磁铁的正负极。也就是说，由于旋转到一半时磁铁的正负极会发生变化，继续相互排斥，因此电动机就能继续工作。

我们把使用交流电的电动机称为**交流电动机**。虽然交流电动机相当方便，但需要能够变换直流电和交流电的变频器，因此价格也相当昂贵。与只负责调节电量的**调节器**相比，变频器因为有变换直流电和交流电的功能，价格更高。

8.2.3 利用电动机发电的再生功能

既然蓄电池的电流是直流电，那为什么不使用直流电动机呢？如

果使用直流电动机，就无需再使用价格昂贵的变频器，不就能降低成本了吗？事实上，凭兴趣打造的私人电动汽车和无线电遥控车等电动模型，都是使用廉价的直流电动机。

电动汽车之所以使用交流电动机，很大程度上是为了利用它的**再生**[①]功能。再生是电动汽车和汽油动力车最大的区别之一。我们不常听到再生这个词，英语是 regenerative，就是再生的意思。所谓再生，就是在电动汽车减速时电动机发挥发电机的作用，利用其放出的电给蓄电池充电（图 8.4）。正是因为电动机和发电机原本就是同一个装置，这项功能才能实现。

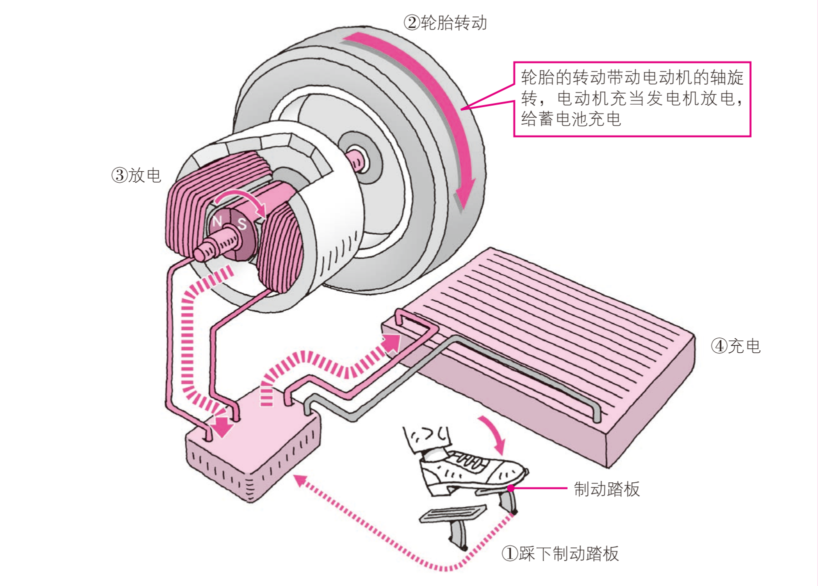


图8.4　再生的结构
电动机充当发电机，利用轮胎的转动发电，给蓄电池充电。

① 熟悉火车的人常常会听到再生这个词。我们把火车加速称为上电，把减速称为再生。

说到这儿，你可能会觉得不太好理解。此时你可以将再生看作是与电动机的工作相反的功能，它是用电动机代替发电机，通过对电动机施加外力带动轴转动从而放电。

我们有起死回生这个词，是指在一筹莫展时情况突然发生变化，失而复得。如果你把电动汽车的再生看作是回收用过的电的功能，或许能好理解一些。

再生所用的外力来自汽车轮胎的转动。当驾驶员松开加速踏板、停止向电动机输送电流时，行驶中的汽车轮胎的转动就会传递到电动机，此时电动机就充当了发电机的作用。

实现再生功能时是负责减速的力——**制动力**在发挥作用，也就是在实施制动。我们把这种制动称为**再生制动**。

自行车的车灯就是存在于我们身边的再生制动的实例[①]。夜晚，为了点亮车灯启动发电机时，会觉得自行车的踏板蹬起来很费力，这是因为发电机的开启充当了阻力的作用。再生制动就是利用了这种阻力实施制动。实施再生制动时减速的感觉，和在汽油动力车中利用发动机制动实施制动的感觉很相像。

在电动汽车中，电动机和发电机是同一个装置，因此再生功能是电动汽车所特有的。电动汽车与汽油动力车大不相同，在电动汽车中，蓄电池放出的电带动电动机工作，从而驱动汽车，减速时依靠电动机发电，并将电回收到蓄电池中。

① 日本出售的自行车几乎都带有磨电灯，包括磨电机、车灯、将磨电机固定在自行车前叉上的安装定位支架以及套在磨电机外壳上的护套。自行车行驶时，钢圈带动磨电机转动，提供电能点亮车灯。——译者注

我们说电动汽车有益于保护环境，部分原因正在于它能够依靠再生功能回收一些用过的电，从而提高能源利用率。电动汽车不仅不会排放废气，还能更有效地利用电这一能源。

8.2.4 再生需要变频器

上一节我岔开话题讲到了再生，现在再回到交流电动机上吧。之前我讲过，电动汽车减速时是再生功能在发挥作用，电动机充当发电机，将电回收到蓄电池中。此时无论是直流发电机还是交流发电机，放出的电都是交流电，但给电池充电必须用直流电。因此再生时就需要用到转换装置，即变频器。

用于直流发电机、仅负责调节电功率的调节器并没有转换交流电和直流电的功能。也就是说，直流电动机和调节器组合时，再生功能是无法实现的。

如果你只是为了娱乐，想用电驱动电动汽车和无线电遥控车的话，直流电动机就足够了。但如果你想利用电动汽车提高能源利用率，并想在环境方面以及降低能源消耗等经济方面提高使用电动汽车的价值和效果，就需要用到交流发电机了。因此，汽车生产商们销售的电动汽车都搭载了交流发电机和变频器。

8.2.5 从汽车发动时开始，电动机就能产生最大扭矩

刚开始转动时，电动机和发动机输出力的方法存在很大的差异。两者输出的力都可以用**扭矩特性图**来展示（图 8.5），它表示的是发动机和电动机转动时所产生的扭矩。

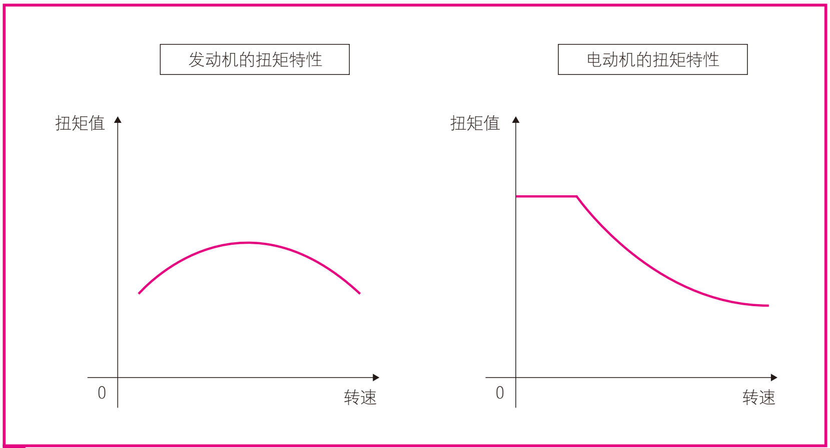


图8.5　发动机和电动机的扭矩特性图
发动机转速加快时扭矩就会增大，而电动机从转速为0开始就能产生很大的扭矩。

发动机启动后处于每分钟转速 500~600 次的怠速状态。当驾驶员踩下加速踏板转速逐渐加快时，扭矩也会慢慢增大。且当转速到达某一数值时扭矩会增加到最大值，此后即使转速加快扭矩也会逐渐减小。因此发动机的扭矩特性图呈山峰形。

当发动机转速较慢时，吸入发动机内的空气的强度也较小，因此此时的扭矩相对较小。转速加快时会吸入更多的空气，汽油量也随之增加，因此发动机的扭矩也会逐渐增大。但当转速超过某一数值时，汽缸和活塞的摩擦等各种阻力就会增加，使得扭矩逐渐减小。

而电动机没有怠速状态，在驾驶员踩下加速踏板、电动机开始转动时，就能产生很大的扭矩。并且刚开始转动时电动机产生的力就是最大的，即能够产生最大扭矩。因此电动机的扭矩特性图呈梯形，在转速为 0 时达到最大值。如果增加了通入电动机的电量，那么电动机即使处于转速为 0 的状态也能产生很大的扭矩。

无论是发动机还是电动机，转速较高时扭矩都较小。但扭矩较小时如果加快转速，就能在短时间内产生很大的力，这就意味着一定时间内力的总量就会增加。也就是说，因为力的增加，汽车跑得更快了。在这一点上，发动机和电动机都是如此。

但由于有无变速器的巨大差异，两者的扭矩在输出方式上有很大不同。刚才我们了解到，发动机转速加快时扭矩才会增大，而电动机从踩下加速踏板汽车开始发动时，就能产生最大扭矩。正因如此，电动机才不需要依靠大小齿轮组合增加旋转力的变速器。在汽油动力车中，汽车发动时发动机转速很低，扭矩很小，因此需要利用变速器的齿轮组合增加力量来驱动汽车。

如上所述，电动机的扭矩特性与发动机的完全不同。与电动汽车一样，燃料电池车使用的也是电动机。利用电动机的扭矩特性，燃料电池车不使用变速器仍能以超过时速 100km 的速度高速行驶。由于加速时无需切换齿轮，因此驾驶时类似于汽油动力车中的自动挡汽车，而不是手动挡汽车。也正是因为没有变速器，电动汽车也就不会产生因齿轮切换引起的换挡冲击，因此能够行驶得更加平稳。

然而，即使从发动时开始就能产生很大的扭矩，一个小小的电动机也是无法驱动重达 1 吨的电动汽车的，因此就要利用差速器进行减速了。也有的电动汽车在每个轮子上都配备了电动机而不安装差速器，但此时要给每个电动机都装上减速齿轮，减速比大约为 6∶1。

8.2.6 电动机安静地转动

电动机是利用电产生磁场（即磁铁）的原理转动的，而不是像发动机一样靠燃烧燃料工作的。电动机不燃烧就能很安静地产生旋转力，

也很少会有振动。

燃烧燃料时，如果是像炉子一样只燃烧燃料就不会发出很大的声音。但由于发动机是将燃料和空气压缩后将其引燃，像爆炸一样极速燃烧从而产生很大的力，因此声音也会很大，同时还会产生振动。

实际上，汽油动力车也在致力于发动机的安静和无振动，高级汽车甚至将安静、振动少作为了宣传重点。因此我们可以说，电动汽车具备了与高级汽车相同的安静和振动少的特点。

然而实际乘坐电动汽车或者观察其行驶状态时就会发现，它多少还是会发出声音的。我们能够听到的“咔咔”的金属声，是变频器发出的控制声，是在调节通入电动机的电量时发出的声音。给变频器通入电流时，变频器需要用开关变换频率，开闭开关的连续声音就会形成“咔咔”的噪声。虽然不如发动机的噪声大，但由于电动汽车在行驶时相当安静，因此这种控制声也就格外引人注目。

8.3 轮毂电机的结构

8.3.1 每个轮子上都有电动机

之前我们已经了解了电动汽车的基本结构，它使用简单的电动机装置，未搭载变速器，时速仍能达到100km以上。接下来我将介绍电动汽车特有的创新，首先是轮毂电机。

轮毂电机是在装有轮胎的轮圈中放置上电动机的装置（图8.6）。拿汽油动力车来说，就是在装有制动盘和制动垫的地方装入小型电动机。

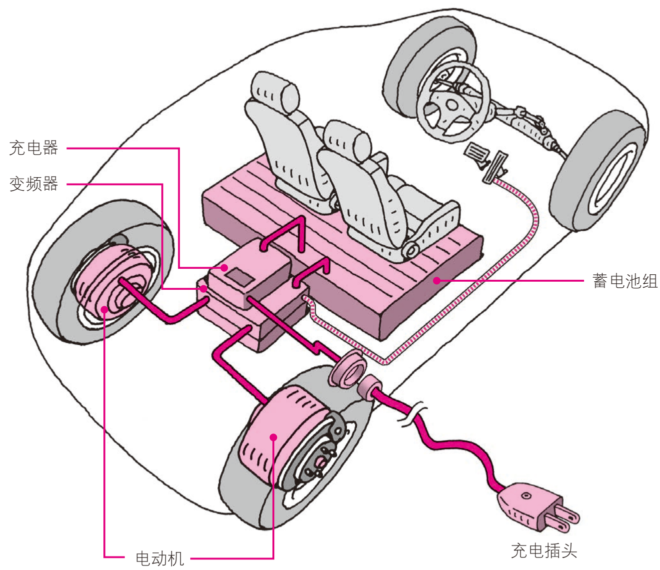


图8.6　左右分别装有轮毂电机的概念图
左右各有一个电动机，就不需要差速器了。

我在讲解汽油动力车时曾提到过前置后驱车（FR），就以它为例，如果在左右后轮分别安装上一个电动机，就不需要差速器了。这是因为每个电动机都能单独改变驱动力和转速，即使没有差速器，左右电动机也能根据转角的大小调整内轮和外轮的转速。

既然安装了轮毂电机，取消了变速器，就需要利用电脑配合转角控制左右驱动轮的驱动力和转速。设计好了这一程序，就能生产出没有差速器的汽车了。

电动汽车不需要发动机和变速器，因此也就不需要放置发动机的发动机室和安装变速器的地方了。并且由于使用轮毂电机的电动汽车

不需要差速器，因此在构成车身的底盘上只要有放置蓄电池和变频器的地方就可以了。

蓄电池组又薄又平，铺在底盘上并没有多高，因此只需要再为放置变频器留出空间就可以了。这样一来，就增加了驾驶室和后备箱的空间。利用了轮毂电机，就能将电动汽车设计成与发动机汽车完全不同的形状。

8.3.2 汽车的新可能性蕴藏在电动汽车中

如果给四个轮子都安上轮毂电机，电动汽车也能成为四轮驱动车。在这种四轮驱动车中，当右侧的前后电动机向前进方向转动时，左侧的前后电动机就能向后退方向转动。这样一来，电动汽车就能像履带式车辆一样，利用左右履带前后反向转动进行方向的变换。

如果在驶出狭窄的停车场时这样驾驶，就不需要为改变方向而环岛了。即使是在路的尽头，也可以不用倒车直接在原地变换方向，一边向前行驶一边调头。或者将车身设计成驾驶室能够旋转 180 度的结构，只需让电动机的转动方向前后相反，也可以一边前进一边调头。

此外，由于轮毂电机不像发动机汽车那样需要传递动力的车轴，因此其轮胎能够侧向旋转 90 度。这样一来，纵向停车时只需将轮胎简单地移向旁边就可以了。

在 2007 年东京电动机展览上，日产汽车曾展示了其概念车 Pivo 2。这款汽车不仅驾驶室能前后逆向转动，且其轮胎也能横向转动 90 度向正侧面行驶。它让我们看到了刚才所介绍的电动汽车的可能性。

电动汽车的价值不仅在于它用电动机代替发动机，是利于环境保

护的新一代汽车，还在于它蕴含了多方面扩展汽车的理想状态，使汽车发展成操作起来更加简便且乘坐起来更加放心的汽车的可能性。

8.4 锂离子电池的特征

单体能够产生3.6~3.7伏特的电

最后我想介绍一下电动汽车的蓄电池。

我在第 2 章中讲过，汽油动力车也搭载了蓄电池。观察一下发动机室就会发现角落里有个四角形的箱子，它就是我们通常所说的辅助用的铅酸蓄电池，它与驱动电动汽车的蓄电池的种类不同。

在汽油动力车中，需要用起动机（电动机）启动发动机，而使起动机转动的正是铅酸蓄电池。此外，铅酸蓄电池还用于启动汽车的前灯、雨刮器、空调、音响和电动车窗等各种电器。小型烤箱大小的蓄电池无法驱动汽车，它放出的电仅够启动汽油动力车中的电器。如果是仅为娱乐而手工制作的电动汽车，那只需放置 10~20 个铅酸蓄电池就能驱动汽车了，但性能未必很好。

汽车生产商们用在电动汽车上的是**锂离子电池**（照片 8.3）。锂离子电池也用于手机和笔记本电脑，在便携式电器中很常见。在 20 世纪 90 年代前半期，手机又大又重，而且待机和通话时间都很短。但如今的手机又小又轻，也无需每天充电，这与锂离子电池的发明及其性能的改进有很大关系。电动汽车的性能也因此而提高，它使用锂离子电池而不是铅酸蓄电池，不仅实现了小型轻量化，还能行驶更长的距离。



照片8.3　一种锂离子电池
照片由三菱汽车提供

那么锂离子电池为何拥有如此优良的性能呢？蓄电池的最小单位是单体电池，它是指由一组正负极和导电的电解液制成的蓄电池的基础单位。

一个单体铅酸蓄电池产生 2 伏特的电，汽油动力车中组合了 6 套铅酸蓄电池，也就意味着它能够产生 12 伏特的电。而一个单体锂离子电池可以产生 3.6~3.7 伏特的电，高于其他蓄电池。

在家电产品使用的蓄电池中有一种是镍镉电池，单体镍镉电池的发电电压为 1.2 伏特。但其电极中使用的镉是有害物质，现在已经不再用了，而是换成了性质相同的镍金属氢化物电池，其单体发电电压也是 1.2 伏特。

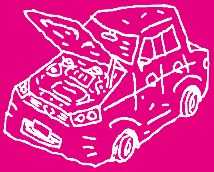
其单体发电电压为 3.7 伏特左右是锂离子电池一个很大的特征。正是因为锂离子电池最小单位的电压很高，它才能成为“小身材、高性能”的蓄电池。

此外，在放电结构方面，锂离子电池也有优点。铅酸蓄电池和镍

金属氢化物电池是利用正负极的金属与电解质发生化学反应放出电子从而发电的。而锂离子电池只是利用带电子的锂在正负极间的移动来放电的，其电极的金属不发生化学反应，材料也就不会发生变化。并且，即使不断放电和充电，它也不会老化，经久耐用。这样看来，锂离子电池的性质就完全不同于铅酸蓄电池和镍金属氢化物电池了。

Column

汽车辟谣



电动汽车果真静得吓人吗?

编辑：前两天我看见有人开电动汽车了，怎么觉得有点恐怖呢?

记者：你要说它恐怖，我就不让你试乘了。我总不能为了吓唬你，特意弄一辆电动汽车来吧？又不是表演落语[①]《怕包子》[②]，我可不上你的当。

编辑：你疑心可真重啊。我的意思是，电动汽车行驶的时候几乎没有声音，这样的汽车如果靠近我，我会觉得很危险，很吓人。不过实际上也是能听到声音的。

记者：你真的见过或者驾驶过电动汽车吗?

编辑：没有，就在电视上看过。所以才想试乘一下嘛。

记者：你看你还是想试乘吧。你平时不是总说“百闻不如一见”嘛，现在这么犹豫还真不像你平时的作风呢。

编辑：没办法嘛。毕竟比起汽油动力车，电动汽车还是很少的啊。

记者：确实是这样啊，而且它还处在靠想象来描述的阶段。

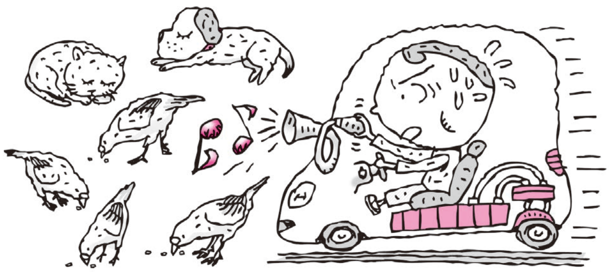
编辑：是吗？那实际情况是怎样的呢?

记者：电动汽车的确比汽油动力车和柴油动力车安静，但也并不是完全没有声音啊，控制电器时变频器也是会发出声音的。况且，日本的高级汽油动力车也是很安静的啊。

---

① 日本的传统曲艺形式之一，其表演形式和内容类似于中国的传统单口相声。——译者注

② 日本落语题名。内容为有人声称害怕包子，别人想捉弄他，就买来各式各样的包子。于是此人将计就计，一边说“好怕呀，好怕呀”，一边将包子全部吃光了。——译者注



编辑：是啊，我的车就是汽油动力车，但确实很安静。而且安静本来就不是什么坏事。

记者：是啊，汽车安静了，乘车人也觉得舒服。噪声少了还能减轻对沿线居民的影响。

编辑：但对盲人来说，会觉得这样很不安。汽油动力车有声音，靠近时就能感觉到。但电动汽车行驶起来那么安静，如果注意不到是很危险的呀。

记者：你说得没错。虽说如此，但如果硬要发出声音扩散噪声的话会怎样呢？如果有其他的噪声，声音就会混乱不堪。你难道想把发动机的声音外放，以驱散行人吗？

编辑：怎么可能！那该怎么解决呢？

记者：除了警示用的喇叭之外，还可以再配备一个告知行人“电动汽车正在通过”的轻音喇叭，或者加一个在视觉上起到警示作用的闪光灯。

编辑：挺有意思的。还有别的吗？

记者：目前ITS（智能交通系统）正在研发，它能够发现位于隐蔽处的行人，并通过导航系统发出警告。如果实现了这项功能，驾驶员就能事先预知前方危险的存在。

编辑：还在开发啊，早点生产出来就好了。

记者：并不是说因为安静的电动汽车很危险，所以只要让它发出声音就行了，更重要的是利用技术的进步推动人们更好地发挥聪明才智，使电动汽车能够正常地实现量产，普及到千家万户。

编辑：别光说好听的了，还不快把正确的电动汽车知识写成专题！

记者：你就放心吧！

第9章

环保型汽车

——混合动力汽车以及燃料电池汽车等

热身问答

阅读正文前，让我们先回答下面的问题来热热身吧。

问题

受地球环境问题的影响，以保护环境为初衷的新一代汽车层出不穷。以下哪种汽车仅靠电就能驱动呢?

1. 燃料电池汽车
2. 插入式混合动力汽车
3. 生物燃料汽车

答案

1. 燃料电池汽车

解析

燃料电池汽车是依靠搭载在汽车上的燃料电池发电，利用其发出的电带动电动机转动，从而驱动汽车的新一代汽车。其所用燃料为氢，但与氢动力汽车不同的是，燃料电池汽车里的氢不燃烧，而是在燃料电池这一发电装置中通过产生化学反应来发电。

插入式混合动力汽车是同时使用发动机和电动机作为动力的新一代汽车。与之前的混合动力汽车相比，它延长了只靠电能够行驶的距离。通过给其搭载的蓄电池充电，它便能够依靠电行驶一段距离，但无法持续行驶。切断电源后，混合动力汽车就只能使用发动机作为动力了。

生物燃料汽车是依靠在发动机中燃烧由植物制成的燃料来行驶的新一代汽车。据说由于制成燃料的植物在生长时，光合作用需要用到二氧化碳，所以在被制成生物燃料，用于汽车燃料后不会再排放二氧化碳。从这点来看，它对于保护环境是相当有利的，但其驱动汽车的动力与汽油动力车相同，仍是发动机。

本章重点

与第 8 章中所介绍的电动汽车相同，在第 9 章中，我仍将向大家介绍各种新一代汽车。除了燃料电池汽车和混合动力汽车等使用电作为动力的汽车之外，我还会提到清洁柴油汽车和氢动力汽车等不使用电的汽车。它们都具有保护环境、能源消耗量低的特点。

本章看点

(1)燃料电池汽车的结构

详细解释利用氢发电的燃料电池汽车的结构。由于使用氢发电，因此其行驶距离要长于电动汽车。并且，它发电后的残留物只有水，十分利于保护环境。

(2)混合动力汽车种类多样

根据是否有发电机和能否用插头充电为标准，将混合动力汽车分为几种类型。我将分别解释其结构和特征。

(3)不用电的新一代汽车

介绍不使用电的、对环境有益的汽车，包括清洁柴油汽车、生物燃料汽车以及氢动力汽车。

9.1 燃料电池汽车的结构

9.1.1 蓄电池的低性能催生出了能够发电的电动汽车

除了第 8 章中介绍过的电动汽车（EV，Electric Vehicle）外，还有几种使用电的汽车，例如燃料电池汽车、混合动力汽车等（表 9.1）。下面我就按顺序介绍一下。

表 9.1　主要的电动汽车和混合动力汽车

新一代电动汽车的种类	方　式	特　征
电动汽车	电动汽车（EV）	依靠提前给蓄电池充电来行驶
	燃料电池汽车（FCV）	以氢为燃料发电，利用其放出的电行驶
混合动力汽车	混合动力汽车（并联式）	以发动机和电动机作为行驶的动力
	混合动力汽车（串联式）	发动机仅用于启动发电机，汽车依靠发电机放出的电行驶

提前给车载的蓄电池充电，利用其放出的电启动电动机，这是电动汽车行驶的前提。而有的电动汽车即使不事先给蓄电池充电也能行驶，它就是边发电边行驶的**燃料电池汽车**（FCV，Fuel Cell Vehicle）。

蓄电池的容量问题催生出了燃料电池汽车。如今的电动汽车搭载的电池是高性能的锂离子电池，它的出现催生了能够连续行驶 150km

左右甚至更远距离的小型电动汽车。而在此之前的蓄电池并不能驱动汽车行驶得如此之远。

如果电动汽车使用的是搭载在汽油动力车上的铅酸蓄电池，那么充一次电就只能行驶 40km~50km。之后出现的用于混合动力汽车的镍金属氢化物电池与锂离子电池类似，也能驱动汽车行驶很长的距离，但其体积较大，并不适合小型汽车使用。环境问题和能源问题的出现提高了对电动汽车的关注度，但在锂离子电池真正用于汽车之前，都无法期待电动汽车能够抢占汽油动力车的宝座。

在 20 世纪 90 年代前半期诞生的燃料电池汽车，是装有发电装置的电动汽车中的一种。当时人们的设想是：如果是本身能发电的燃料电池汽车，那其行驶距离不就与汽油动力车一样长了吗？实际上，燃料电池汽车的行驶距离的确与汽油动力车大致相同，供给一次燃料能够行驶 600km~800km。

因此，作为新一代的汽车，燃料电池汽车与第 8 章中所介绍的搭载蓄电池的电动汽车一样，也是很值得期待的。

9.1.2 以氢为燃料发电

电动汽车（EV）是从外部给搭载在汽车上的蓄电池充电，利用储存在蓄电池中的电启动电动机，驱动汽车。而燃料电池汽车（FCV）是将作为燃料的氢储藏在燃料箱中，使燃料电池利用氢发电，依靠其放出的电启动电动机，驱动汽车。燃料电池汽车给燃料箱补充氢就相当于电动汽车给蓄电池充电。

即便如此，燃料电池的意思或许还是很难理解。一说起汽车的燃料，我们通常会想起汽油和轻油。而一说起电池，我们一般会想到干

电池和汽车的蓄电池。所以你或许很纳闷，燃料和电池究竟是如何结合起来的呢?

我们把用氢作为燃料进行化学反应从而发电的装置称为**燃料电池**。燃料电池汽车并没有大量搭载蓄电池，而是利用燃料电池发出的电启动电动机，驱动汽车。

英语中把燃料电池称为 Fuel Cell。Fuel 是指燃料，在燃料电池汽车中是用氢作为燃料的，而 Cell 有电池的意思，因此 Fuel Cell 直译过来就是燃料电池。但我还要再强调一遍的是，燃料电池虽然叫做电池，但归根结底都是以氢为燃料进行发电的装置。

Cell（电池）的原义是小屋，我们把由一组正极（+)、负极（−）以及电解质组成的发电装置的最小单位称为**单体电池**。就像在第 2 章中讲到的那样，用于启动发动机的铅酸蓄电池也是由单体电池组成的。1 组单体电池能够产生 2 伏特的电，6 组单体电池就能产生 12 伏特的电。因此，汽车中的音响等电器都是由 12 伏特的电启动的。日本的家电产品通常是由 100 伏特的电启动的，与此相比，启动汽车中的机器所用的电压就很小了。

同样，燃料电池的最小单位也是单体。在一组正极（+）和负极（−）中，正极装入氧，负极装入氢。利用涂在电极表面的白金催化剂，氢分解为电子（−）和氢离子（带 + 电的氢原子）。随后，氢离子移动到正极与氧结合，变成水时电子会通过线路流至正极，从而产生电（图 9.1）。

每个单体燃料电池大约能产生 1 伏电，几百个单体聚集起来就能产生几百伏电，从而驱动燃料电池汽车。几百组单体燃料电池堆积起来就形成了**燃料电池堆**。

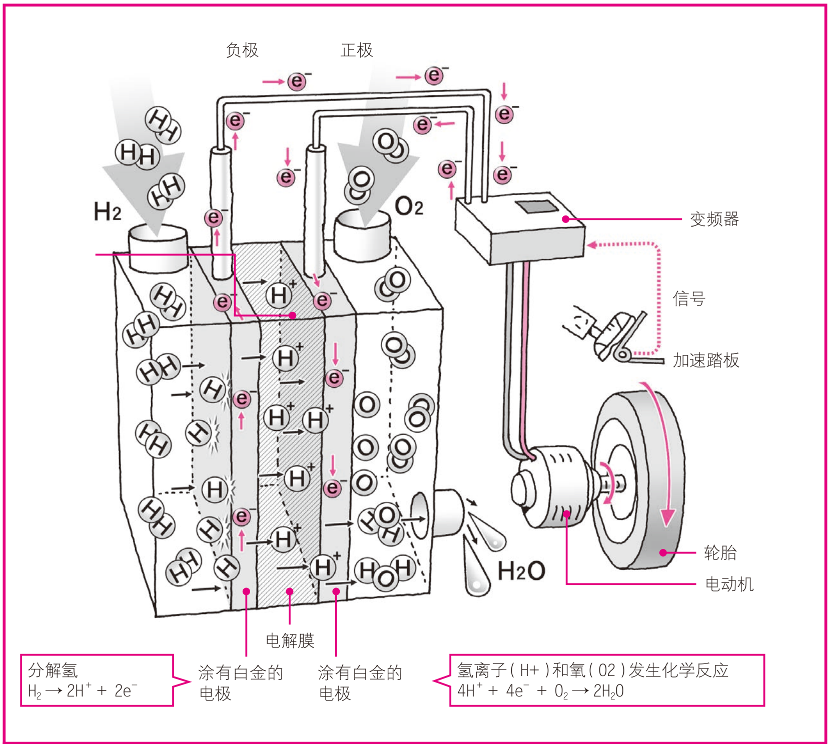


图9.1　燃料电池的结构
展示了单体电池的内部结构。正极中装入氧，负极中装入氢，利用白金催化剂将氢分解为电子和离子。当离子移动到正极生成水时，电子就流经线路形成电。

持续地向燃料电池中输送作为燃料的氢，电池就能持续发电。由于空气中没有氢，因此需要将其储存在车载燃料箱里运送。而送入正极的氧就存在于空气中，因此可以直接利用，而无需特意将其作为燃料储存在燃料箱中运送。

9.1.3 仅残留水的燃料电池汽车是终极环保车

燃料电池汽车是依靠燃料电池产生的电而行驶的电动汽车，因此

其正式名称为燃料电池电动汽车（Fuel Cell Electric Vehicle），也就是说，FCEV 才是正确的叫法。但由于这个名字太长，所以我们一般称之为燃料电池汽车或者 FCV。

当驾驶员踩下加速踏板时，氢就会从氢储存箱中流入燃料电池。在汽油动力车中，踩下加速踏板的程度能够调整流入发动机的空气量。同样，在燃料电池汽车中，也能调整氢流入燃料电池这一发电装置中的量。燃料电池根据氢的量产生电，将电流通入电动机，从而带动电动机转动。燃料电池汽车正是依靠电动机转动产生的力前进和加速的。

燃料电池汽车之所以被称为“终极环保车”，就是因为它是利用氢和氧来发电的。氢和氧发生化学反应产生电之后，氢和氧的结合生成的是水，而不会像发动机燃烧汽油和轻油之后会排出有害物质，非常利于保护环境。

除了水之外，氢还存在于石油（包括汽油、煤油、丙烷气等）、天然气以及乙醇类（被称为生物燃料的物质等）物质中。因此，氢可以从各种原料中获得，可谓“取之不尽”。

而作为地下资源的石油和天然气是有限的。根据其蕴藏量进行推算，有预测称还可开采 40~60 年，因此节能迫在眉睫。并且这些燃料燃烧时还会产生二氧化碳（CO_2），加剧全球变暖的趋势。

使用氢的燃料电池在发电后只排出水，因此给环境造成的负担是非常小的。这样看来，在今后的 50~100 年内，无论是在不使用地下资源方面，还是在改善地球环境方面，燃料电池汽车都可以成为终极环保车。

9.2 混合动力汽车有很多种

9.2.1 同时使用发动机和电动机

电动汽车（EV）和燃料动力汽车（FCV）的未来很光明，但目前仍未广泛普及到取代汽油动力车的程度。

电动汽车（EV）有一个亟待解决的问题，即充一次电无法行驶过长的距离。而燃料动力汽车（FCV）的难点在于，价格高，能够供给作为燃料的氢的加氢站还不够完备。

因此，**混合动力汽车**普及开来了。它不仅使用了电动机，还解决了电动汽车和混合动力汽车无法解决的难题。由于是同时使用发动机和电动机，因此就用了表示混合、混种等意思的单词——Hybrid。

汽车从静止到发动时需要的能量最大，无论是汽油动力车、电动汽车（EV）还是燃料动力汽车（FCV）都是如此。使重达 1 吨的重物开始运动，是需要很大能量的。

在需要如此之大的能量时，电动机发挥的作用最大。就像我在第 8 章中讲到的一样，如果电动机的电功率足够大，那么它随时都能产生很大的扭矩。如果不大幅加快发动机的转速，发动机就无法产生很大的力。因此，为了能利用齿轮将很小的力增大，就需要使用用于发动汽车的、齿轮比较大的变速器。

混合动力汽车同时拥有发动机和电动机，发动时使用能产生很大力量的电动机，发动后再使用发动机。这是因为当汽车加速至发动机处于能产生最大扭矩的转速时，发动机就能以效率高、油耗低的状态驱动汽车继续行驶了。

这样看来，混合动力汽车正是考虑到了发动机和电动机的优缺点，根据汽车行驶状况的变化区别使用，从而大大降低了油耗。并且，因为使用了不排放二氧化碳和有害物质的电动机，混合动力汽车还有利于环境保护。

而且，混合动力汽车无需充电。当需要给车载的启动电动机的蓄电池充电时，可以使用发动机的动力，或者利用汽车减速时作为发电机发挥作用的再生功能。这里的再生功能与我在第 8 章中讲到的电动汽车的再生功能是相同的。在接下来讲解混合动力汽车的种类时，我会介绍使用发动机的动力进行发电的结构。

9.2.2 并联式混合动力汽车和串联式混合动力汽车

之前我们是按照只有一种混合动力汽车的情况来讲解的，但实际上混合动力汽车有**并联式**和**串联式**两种。之前讲到的是并联式，通常是小型载客混合动力汽车。它发挥了发动机和电动机各自的优点，将两者同时作为驱动汽车的动力。

而串联式多用于大型公共汽车，只用电动机作为驱动汽车的动力。发动机只用于启动发电机，并利用发电机发出的电转动电动机。电动机即使转速很低也能产生很大的力，因此它适用于驱动公共汽车等笨重的汽车。并且由于启动发电机就能转动电动机，因此比起公共汽车所用的大排量的发动机，它只需使用小排量的发动机就足够了，这样一来也就降低了油耗。

小型载客混合动力汽车所用的并联式实际上还分为两种（表 9.2）。第一种是除发动机和电动机之外还拥有发电机的方式；第二种是使用发动机和电动机，但没有发电机的方式。

表 9.2　混合动力汽车（并联式）的两种方式　两者都搭载了电动机和发动机。插入式混合动力汽车主要使用电动机

有无发电机	行驶时主要使用的装置	使用其他装置的情况
有	电动机	在急加速等需要助力时以及为降低油耗时使用发动机
无	发动机	在汽车发动以及超车等需要加速时使用电动机作为助力

第一种拥有发电机的混合动力汽车主要是依靠发电机行驶，发动机多在急加速时充当电动机的助力，或者保持一定的转速以降低油耗。除此之外，发动机还能作为发电机的动力，时常为蓄电池储备充足的电。因此，这种方式还被称为**串联・并联式**。

第二种没有发电机的串联式主要是依靠发动机的驱动力来行驶，电动机仅在发动机力量不足的情况下发挥作用。例如在汽车发动或超车等情况下因加速而需要更大的力时，电动机就可以作为发动机的助力发挥作用。

图 9.2 所展示的就是混合动力汽车在有发电机和无发电机两种情况下的不同。在汽车静止处于怠速状态时，两者并无差别。在接下来汽车发动时，两者的不同就显现出来了。拥有发电机的汽车仅靠电动机就可以行驶，而没有发电机的汽车则需要先启动发动机，依靠发动机发动。

加速时，拥有发电机的混合动力汽车主要使用电动机，发动机仅起到辅助作用。而没有发电机的混合动力汽车则主要使用发动机，电动机起到辅助作用。

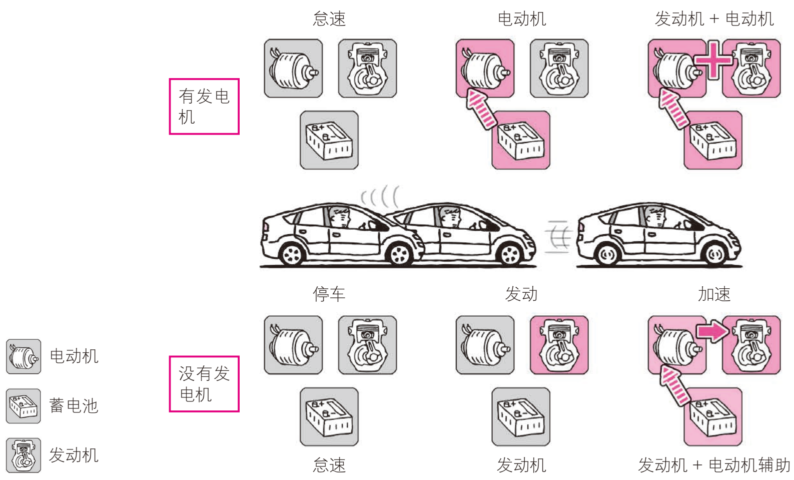


图9.2　混合动力汽车中发动机和电动机的区别
在有发电机的汽车和没有发电机的汽车上用法不同

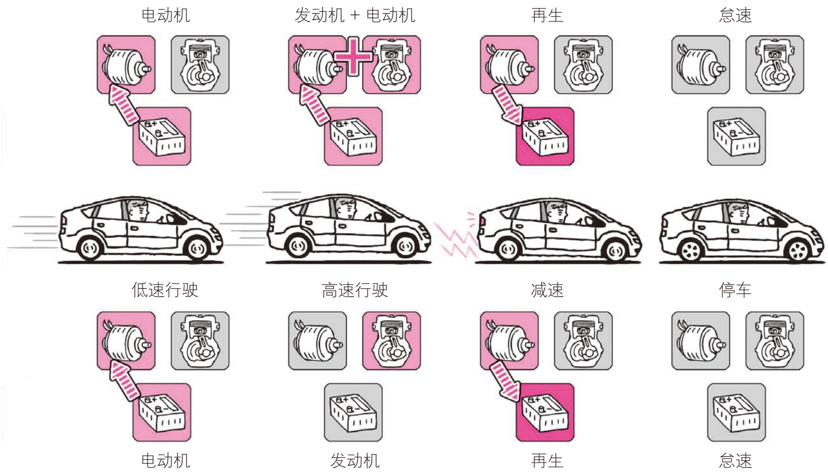
低中速行驶时两者依靠的都是电动机。但当没有发电机的汽车蓄电池电力不足时，就不得不依靠发动机行驶。拥有发电机的混合动力汽车在蓄电池电力不足时也需要启动发动机，但启动发动机也是为了发电，因此归根结底都是以电动机为主要动力。

高速行驶时，拥有发电机的混合动力汽车并用电动机和发动机，而没有发电机的混合动力汽车只使用发动机。

这样看来，拥有发电机的汽车主要依靠电动机行驶，而没有发电机的汽车则多依赖发动机行驶。

9.2.3 接近电动汽车的插入式混合动力汽车

在上一节中，我们了解了装有发电机、主要依靠电动机行驶的并



联式混合动力汽车。如果从这一点出发，对主要使用电动机这一方面进行一些延伸，再多增加一些蓄电池，是否能设计出在短距离内像电动汽车（EV）一样只依靠电动机行驶的汽车呢？**插入式混合动力汽车**就是这样的汽车。

所谓插入式，就相当于将插头插入插座，即依靠充电行驶的混合动力汽车。通过搭载更多的充好电的蓄电池，即使行驶的距离不像电动汽车（EV）那样长，也能够仅仅依靠电动机开车去附近买东西。

这种想法的产生正是基于我在讲解电动汽车（EV）时所介绍的蓄电池性能的提高。如果使用高性能的小型锂离子电池，即使不大幅增加车载蓄电池的数量，也能延长依靠电动机行驶的距离。

但想要使插入式混合动力汽车只依靠电动机，就能行驶像电动汽

车（EV）那样的长距离是不太可能的，而且希望依靠电动机能行驶几十公里的想法也不现实。由于插入式混合动力汽车所搭载的蓄电池数量少于电动汽车（EV），因此长距离行驶时可以给汽车加满油，依靠发动机来行驶。而电动汽车（EV）耗尽电量时必须充电，如此说来，插入式混合动力汽车无需面临电动汽车（EV）的这种麻烦和不安，随时都可以出行。

插入式混合动力汽车的原型仍是混合动力汽车，只是增加了蓄电池的数量并延长了只依靠电动机行驶的距离，因此两者的结构并无二致。插入式混合动力汽车是在混合动力汽车的基础上研发的，诞生于2010年。

9.3 不用电的新一代汽车

9.3.1 不受排放标准限制的清洁柴油汽车

不用电的新一代汽车也逐渐受到了人们的关注，接下来我将要介绍的**清洁柴油汽车**、使用**生物燃料**的汽车以及**氢动力汽车**这三种。

在欧洲，人们普遍认为，柴油动力车比汽油动力车油耗低且对环境有益，因此在2004年前后注册的新车中柴油动力车占了50%左右。但其废气中含有有害物质的量却多于汽油动力车。因此，考虑到大气污染问题，人口密集度很高的日本并没有引进柴油动力车。

即使是在柴油动力车普及的欧洲，也出台了进一步净化废气的严格排放标准EURO5。日本从2009年开始实施世界上最严格的“后新长期”柴油动力车排放法规，美国也从2008年开始实施与汽油动力车相同的Tier Ⅱ Bin5排放规定。

为了适应日美欧推行的严格排放标准，汽车生产商们不得不给柴油动力车加装高级的燃料喷射装置和催化剂，据说其售价甚至已经与混合动力汽车持平了。

此外，与过去相比，柴油动力车所用的轻油价格上涨，与普通汽油的价格差逐渐缩小也是一个原因。为了适应排放标准，汽车生产商们给汽车加装了净化废气的催化剂，并且为了不使催化剂的性能退化，还需要花高价纯化轻油使其硫磺量（10ppm，0.001% 以下的超低硫磺）尽量趋近于 0。我们都知道，在欧洲轻油要比普通汽油贵得多。在日本，得益于税收优惠政策，轻油比汽油便宜得多，但就燃料本身的价格来说，轻油并不是特别便宜。

因此即使是在柴油动力车很受欢迎的欧洲，也在寻求其电动化和混合动力化做着努力。

9.3.2 使用生物燃料的发动机汽车

生物燃料是指由植物制成的燃料。生物燃料之所以受到关注是因为植物在生长时所进行的光合作用中会吸收二氧化碳（CO_2），发动机汽车使用生物燃料也就不会加剧地球温暖化的趋势。发动机燃烧生物燃料时会向大气中排放二氧化碳，但这部分二氧化碳又会被进行光合作用的植物吸收。使用生物燃料的发动机汽车正是基于这个想法出现的，也就是说，它不会破坏环境。

但我们知道，当生物燃料由玉米粒等原料制成时，不可能对环境完全没有影响。这是因为如果不充分利用茎和叶，也就无法避免栽培（播种、灌溉、收获时能量的消耗）和制造燃料时排出的二氧化碳对环境造成的影响。

并且也有人说，世界上约有 10 亿人面临着温饱问题，在这种情况下还能将农作物作为汽车的燃料吗？虽然寻求汽车燃料多样化是很有价值的，但能否将其广泛普及到全世界就很难预测了。

9.3.3 燃烧氢的氢动力汽车

氢动力汽车以氢为燃料，依靠在发动机中燃烧氢来行驶。虽然使用氢，但它与之前介绍的燃料电池车（FCV）不同。FCV 是利用氢发电、依靠其放出的电行驶的，而氢动力汽车是依靠在发动机中燃烧氢（而不是汽油）得到的旋转力来驱动汽车的。

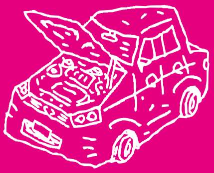
与在发动机中燃烧汽油和轻油相比，燃烧氢后，废气中所含的有害物质要少得多，但比起燃料电池汽车，其利用氢的效率要低得多。并且，废气中还含有少量的 NO_X 等有害物质。

由于氢气发动机可将现有发动机改造并加以使用，因此可以延用原有的零件和现有的工厂设备，与燃料电池车相比，其新设备的投资较少。因此日本的马自达公司和德国的 BMW 公司都在致力于氢气发动机的开发。马自达公司还在进行利用氢气发动机驱动发电机，开发依靠电动机行驶的串联式混合动力汽车。而且，致力于开发氢气发动机的汽车生产商们也并没有否定燃料电池汽车。

为了普及氢动力汽车，需要设置为汽车提供氢气的**加氢站**。如果普及了氢气发动机和燃料电池，这些社会设施就能随之完备了吧。

Column

汽车辟谣



新一代汽车里果真没有赢家吗?

编辑：将来哪种汽车会是赢家呢?

记者：怎么想起这个问题来了?

编辑：你直接回答我的问题就好，更何况读者们应该也是很期待答案的吧。你罗列了太多汽车类型，介绍完这个又介绍那个，谁都没有耐心全部读完啊。

记者：我觉得是电动汽车（EV）和燃料电池汽车（FCV）。但从目前的情况来看，蓄电池的性能、价格、充电设备以及加氢站等社会基础设施还不够完善。

编辑：你怎么那么啰嗦啊 ......

记者：所以就目前来说，混合动力汽车和插入式混合动力汽车最受关注。

编辑：清洁柴油、天然气和生物燃料不行吗?

记者：你懂得很多嘛。它们各有千秋，但清洁柴油和天然气必须依赖地下资源，生物燃料虽然来源于植物，但仍存在着粮食问题、生产效率以及生产时会产生二氧化碳等需要解决的难题。

编辑：那这么看来赢家还是混合动力汽车喽?

记者：从 EV 和 FCV 面临电气化这一点来看，目前占优势的还是混合动力汽车。在欧美国家，混合动力汽车的认可度还是很高的。

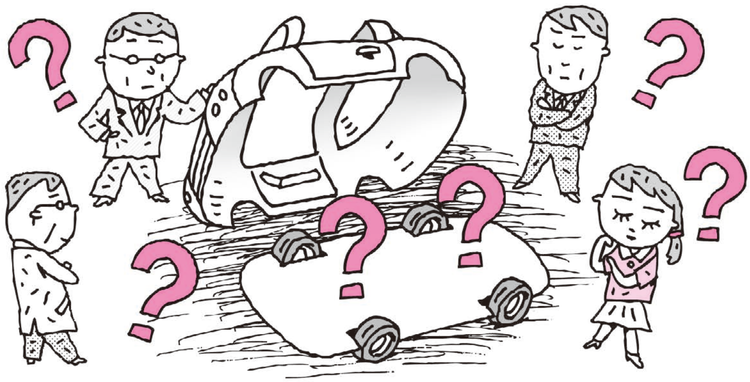
编辑：混合动力汽车还是赢了。我下一辆车就买混合动力汽车吧。

记者：但小排量汽车和小型 EV 也开始受到关注了。

编辑：你刚才不是还说 EV 存在蓄电池性能和价格问题吗?

记者：小排量汽车和小型 EV 价格较低。在蓄电池的性能方面，就小排量汽车日常的行驶距离来看，充一次电能行驶 30km 就够了。

编辑：我听不懂你在说什么。别总是狡辩，说清楚一点。



记者：我的意思是，今后将不再是以汽油动力车为主导的时代了，而是包括混合动力汽车和EV在内的各种汽车争奇斗艳的时候了。

编辑：你的意思是说没有赢家了？

记者：拿电与能源的结合来说，原子能、火力、水力、可再生能源等都存在。你平时吃饭也是日料、西餐和中餐混着吃吧？你认为赢家只有一个，总在考虑赢家是谁，但这种想法已经过时喽。

编辑：赛马的时候我总是赌冷门哟。

记者：我是认真的，别开玩笑！如果要是按我说的来看，与只有一种车成为主流相比，充分利用不同种类的汽车，使它们各尽所能才是目前的趋势。

编辑：那我到底买哪种车好啊？

记者：什么？你说读者想知道哪种车是赢家，结果是想着换车啊（笑）。

编辑：完了，露馅了。我确实是想换车，但读者对这个问题也是很困惑啊，并且读者的环保意识都很高。你把刚才说的写成报道吧，写得简单易懂一点儿，别总狡辩！

记者：明白了！

编辑：那我到底买哪种车好呢？

记者：……

结语

即便将专业术语解释得再简单，对非专业人士来说仍然很难理解。虽说理解专业术语是专业人士和内行人的工作，但有些非专业人士仍有这方面的求知欲。事实上我并不喜欢用专业术语进行讲解，我也不喜欢在写文章时精简词句。

村上龙曾在他的小说中说过这样一句话："语言精简后，其本身的意思就会变得模糊不清，最终使得人们无法理解，读着读着也就觉得读懂读不懂都无所谓了。"而现在的汽车杂志充斥着专业术语和精简后的词句，逐渐丧失了其存在意义，销量也在不断下降。

写这本《汽车是怎样跑起来的》的时候，我尽量选择了大家都了解的、简单易懂的语句来讲解。即便如此，你可能也并没有充分理解汽车的结构吧？

我认为，无论是之前从未关注过汽车的人，还是一直挚爱汽车的人，如果能通过本书增加对汽车的兴趣，也就意味着这本书的价值得到了认可。

非常希望能听到读者们对本书的意见和建议。最后，感谢你的阅读与支持。

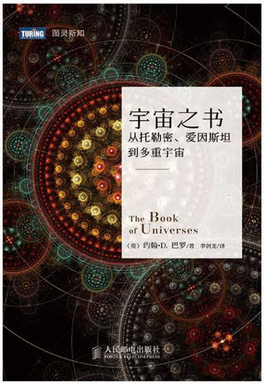
致谢

负责本书的中川弘实先生在如何表述汽车的结构上给了我很多建议。在即将完成校对时，中川先生告诉我他已经爱上了汽车，这对我来说是莫大的赞赏与鼓励。《日经汽车技术》杂志的鹤原吉郎总编也帮我补充了一些内容，另外，是小川计介先生将我推荐给了中川先生，实在是感激不尽。

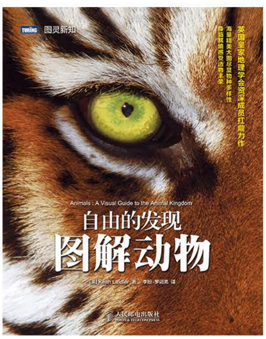
插画家阿部忠雄先生在我拙劣的画稿的基础上，创作了出色的插画，展现了其无与伦比的才能。他说："我非常高兴的是，如果汽车坏了，拆开之后我都能明白里面的运作机制了。"

汽车生产商和零件生产商们也为我提供了宝贵的资料。此外，还有许多朋友为本书的出版付出了努力，在此一并向大家表示感谢。

图灵科普好书推荐



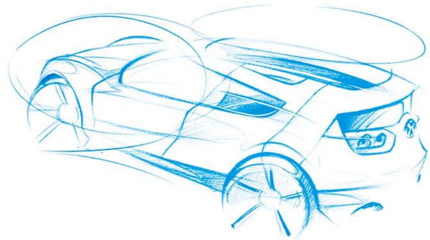
颠覆你对宇宙的原有认知



英国皇家地理学会资深成员扛鼎力作



由宇航员亲自执笔的科普书



亚马逊读者评论

书中有许多图，既好读又有趣。如果你想自己修修爱车的小毛病或了解发动机原理的话，把这本书当做入门书再合适不过了。

近年来，汽车技术的发展速度非常惊人。这本书用简洁的文字和丰富的配图介绍了汽车的内部结构，连我这种菜鸟都觉得很好理解。读了这本书之后，我开车时感觉自己坐在了一项伟大的技术上面。

这本书重点明确、行文紧凑，是一本非常好读的书。就像作者在结语中写的那样，他的确用了最简单易懂的语言来介绍汽车的构造。

真是本好书。每章末尾专门设有“汽车辟谣”专栏，以人物对话的形式解开我们对汽车的种种误解。我原来以为车越贵越容易晕车呢。

封面设计 自在书装设计 83720326@qq.com

图灵社区：www.ituring.com.cn
新浪微博：@图灵教育 @图灵社区
反馈/投稿/推荐信箱：contact@turingbook.com
热线：(010)51095186转604

分类建议 计算机/科普/汽车

人民邮电出版社网址：www.ptpress.com.cn

ISBN 978-7-115-33032-1
定价：39.00元

看完了

如果您对本书内容有疑问，可发邮件至 contact@turingbook.com，会有编辑或作译者协助答疑。也可访问图灵社区，参与本书讨论。

如果是有关电子书的建议或问题，请联系专用客服邮箱：ebook@turingbook.com。

在这可以找到我们：

微博 @图灵教育 : 好书、活动每日播报
微博 @图灵社区 : 电子书和好文章的消息
微博 @图灵新知 : 图灵教育的科普小组
微信 图灵访谈 : ituring_interview，讲述码农精彩人生
微信 图灵教育 : turingbooks